Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 23, No. 2, Summer 2025, p. 201-225

24-Epibrasinolid and Cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) Extract Effect on Grain Yield and Some Morphophysiologycal Characteristics of the Sensitive and Tolerant Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Cultivars

R. Sohrabi[1], A. Pirzad[1], M. Niazkhani[2*], T. MirMahmoodi[3]

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran
2- Department of Microbiology and Medical Engineering, Faculty of Agriculture, Afagh Higher Education Institute, Urmia, Iran
3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University Mahabad Branch. Mahabad, Iran
(*- Corresponding author's Email: SM.Niazkhani@urmia.ac.ir)

Received: 07 July 2024 Revised: 11 September 2024 Accepted: 15 September 2024 Available Online: 11 March 2025	**How to cite this article:** Sohrabi, R., Pirzad, A., Niazkhani, M., & MirMahmoodi, T. (2025). 24-Epibrasinolid and Cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) Extract Effect on Grain Yield and Some Morphophysiologycal characteristics of the Sensitive and Tolerant Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *23*(2), 201-225. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88847.1339

Introduction

Recent alterations in climate patterns have resulted in a reduction of precipitation. This shift not only contributes to drought conditions but also increases the salinity levels of both water and soil utilized for agricultural purposes. To mitigate the impact of this phenomenon on food security, it is essential to consider strategies that involve the utilization of alternative plants and compounds, such as Brassinosteroids (BRs), which can enhance the resilience of plant products to salinity stress. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a plant with high production potential, which can be used as a good candidate to replace salt-sensitive cereal due to its richness in nutrients needed by humans and livestock. Due to the consecutive droughts in the Iran and as a result the lack of water resources and then the salinity of water and soil resources, the production of some traditional agricultural and horticultural plants has faced many limitations. This has caused a decrease in the quantity and quality of agricultural products in these regions. In the meantime, the drying up of Lake Urmia, which was considered the largest salt lake in the world, has faced additional tension in West Azerbaijan province. For this reason, the introduction of planting pattern of new plants with high yield potential, which have good agricultural performance in dry and salty conditions, and the production product, is of high quality is on the agenda.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of 24-epibrassinolide and cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) extract on some biochemical characteristics and related to the forage quality of Quinoa cultivars at salinity levels, a factorial experiment in the form of a completely randomized design (CRD) with four replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture of Azad University of Mahabad in the spring and summer of the year 1401 was done. The investigated factors included the tolerant (Titikaka) and semi-sensitive (Sajma) Quinoa cultivars to salinity, the use of stress-modulating substances (at three levels, without application, application of 24-epibrasinolide and application of cauliflower extract), and the salinity levels (2 levels, without salinity and 15 dS m^{-1}) of irrigation water. After sampling, morphological, biochemical and fodder quality characteristics were measured.

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88847.1339

Results and Discussion

The results showed that spraying with 24-epibrassinolide and cauliflower extract increased total chlorophyll, carotenoid, relative content of leaf water, proline, phenol, soluble carbohydrates, and forage quality characteristics (digestible dry matter, crude protein, ash, water-soluble carbohydrates), and decreased hydrogen peroxide (H_2O_2) and negative attributes associated with forage quality (insoluble fibers in acid detergent, insoluble fiber in neutral detergent and fiber). The use of two anti-stress solutions, especially 24-epibrassinolide, significantly improved oxidative damage caused by salinity stress by reducing hydrogen peroxide and increasing the activity of non-enzymatic antioxidants.

Conclusion

In this study, morphological characteristics (root length, plant height and dry weights of roots, shoots and seeds), total chlorophyll, carotenoid, relative content of leaf water and digestible dry matter of forage decreased under salt stress. While the amount of proline, phenol, soluble carbohydrates, hydrogen peroxide and characteristics related to forage quality (crude protein, insoluble fibers in acidic detergent, insoluble fibers in neutral detergent, percentage of ash, water-soluble carbohydrates and crude fiber) increased. Foliar application of 24-epibrassinolide and cauliflower extract enhanced morphological traits, total chlorophyll, carotenoids, relative leaf water content, proline, phenols, and leaf soluble carbohydrates. It also improved forage quality by increasing the percentage of digestible dry matter, crude protein, ash content, and water-soluble carbohydrates, while reducing hydrogen peroxide levels and undesirable forage quality traits such as acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), and overall fiber content. According to the results, the use of two anti-stress solutions, especially 24-epibrasinolide, significantly improved the oxidative damage caused by salt stress by reducing hydrogen peroxide and increasing the activity of non-enzymatic antioxidants. Titikaka was more resistant to the negative effects of salinity stress on morphological and biochemical characteristics than Sajma, and Sajma under foliar spraying of cauliflower extract and Titikaka under foliar spraying of 24-epibrassinolide showed a better response to saline conditions. Therefore, in order to improve the growth and quality of fodder and reduce the negative effects of salinity stress, foliar spraying with 24-epibrassinolide and cauliflower extract can be recommended in both Titikaka and Sajma cultivars.

Keywords: Carotenoide, Fiber, Hydrogen peroxide, Phenol, Plant height, Proline, Salinity

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۲۲۵-۲۰۱

تأثیر ۲٤-اپی براسینولید و عصاره گل کلم (*Brassica oleracea* var. botrytis) بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)

روژین سهرابی[1]، علیرضا پیرزاد[1]، محسن نیازخانی[2*]، تورج میرمحمودی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

چکیده

تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، کاهش بارش را به دنبال داشته است. این پدیده علاوه‌بر تحمیل خشکی، موجب شوری آب و خاک مورد استفاده برای کشاورزی شده است. برای به حداقل رساندن اثرات این پدیده بر امنیت غذایی، لازم است از هم‌اکنون تمهیداتی در خصوص استفاده از گیاهان جایگزین و موادی مانند براسینواستروئیدها که تنش شوری را برای محصولات گیاهی قابل‌تحمل می‌کنند، اندیشیده شود. کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی است با پتانسیل تولید بالا که با توجه به غنی بودن آن از مواد مغذی مورد نیاز انسان و دام، می‌تواند به‌عنوان نماینده مناسبی جهت جایگزینی غلات حساس به تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد. به‌منظور بررسی تأثیر ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم (*Brassica oleracea* var. botrytis)، روی برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و مرتبط با کیفیت علوفه ارقام کینوا در سطوح شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد مهاباد در بهار و تابستان سال ۱۴۰۱ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل ارقام متحمل (تی‌تی‌کاکا) و نیمه‌حساس (ساجما) به شوری کینوا، کاربرد مواد تعدیل‌کننده تنش در سه سطح (بدون کاربرد، کاربرد ۲۴-اپی براسینولید و کاربرد عصاره گل کلم) و سطوح شوری آب آبیاری (بدون شوری و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. بعد از نمونه‌گیری، ویژگی‌های ریخت‌شناختی، بیوشیمیایی و ویژگی‌های مربوط به کیفیت علوفه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم باعث افزایش کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنل و کربوهیدارت‌های محلول و افزایش ویژگی‌های کیفی علوفه (درصد ماده خشک قابل هضم، پروتئین خام، درصد خاکستر و کربوهیدارت‌های محلول در آب) و کاهش پراکسید هیدروژن و ویژگی‌های منفی مرتبط با کیفیت علوفه (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و فیبرخام) شدند. استفاده از دو محلول ضدتنش به‌خصوص ۲۴-اپی‌براسینولید به‌طور قابل‌توجهی آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را با کاهش پراکسید هیدروژن و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی بهبود بخشید. ازاین‌رو به‌منظور بهبود رشد و کیفیت علوفه و کاهش اثرات منفی تنش شوری، محلول‌پاشی توسط ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم در هر دو رقم تی‌تی‌کاکا و ساجما می‌تواند مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، پراکسید هیدروژن، پرولین، شوری، فنل، فیبر، کاروتنوئید

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- گروه میکروبیولوژی و مهندسی پزشکی، دانشکده کشاورزی، مؤسسه آموزش عالی آفاق ارومیه، ارومیه، ایران
۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: SM.Niazkhani@urmia.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88847.1339

مقدمه

باتوجه به خشکسالی‌های پی‌درپی در کشور و به‌تبع آن کمبود منابع آبی و به‌دنبال آن شوری منابع آب‌وخاک، تولید برخی از گیاهان زراعی و باغی مرسوم با محدودیت‌های زیادی مواجه شده و این موضوع موجب کاهش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی در این مناطق گردیده است. در این بین، خشک شدن دریاچه ارومیه که بزرگ‌ترین دریاچه نمکی جهان به شمار می‌رفت، استان‌های آذربایجان‌غربی و شرقی را با تنش مضاعفی مواجه کرده است. شوری خاک یک تنش غیرزیستی مهم و تأثیرگذار برای کشاورزی مدرن در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به‌شدت جوانه‌زنی بذر، رشد و نمو گیاه و در نهایت بهره‌وری محصولات کشاورزی را شدیداً تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Julkowska *et al.*, 2017). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که در پی گرم شدن کره زمین و بهره‌برداری غیرمنطقی از زمین‌های کشاورزی، شور شدن خاک تسریع شده که این امر منجر به از دست رفتن نیمی از زمین‌های قابل‌کشت تا سال ۲۰۵۰ شود (Albaladejo *et al.*, 2018). به همین جهت، معرفی الگوی کاشت گیاهان جدید و با پتانسیل عملکرد بالا که هم از نظر زراعی در شرایط خشک و شور عملکرد مناسبی داشته باشند و هم محصول تولیدی، از کیفیت بالایی برخوردار باشد در دستور کار قرار گرفته است. گونه گیاهی در کنار دمای محیط، رطوبت نسبی، مرحله رشد گیاه، آلودگی هوا و ترکیب نمک در خاک و آب از جمله مهم‌ترین عواملی است که بر واکنش گیاه در برابر تنش شوری مؤثر می‌باشد (Claussen, 2005).

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) محصولی راهبردی است که برای حفظ امنیت غذایی در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی توصیه شده است (Ruiz *et al.*, 2014). این گیاه با ارزش به‌دلیل تنوع ژنتیکی وسیعی که دارد، نقش مهمی در امنیت غذایی داشته و تنوع و سازگاری فوق‌العاده با طیف وسیعی از شرایط اکولوژیک دارد (Alan, 2011). کینوا به‌دلیل محتوای پروتئین با کیفیت بالا، نماینده امیدوارکننده برای تولید مواد غذایی با پروتئین گیاهی با کیفیت در جهان در نظر گرفته می‌شود (Pulvento *et al.*, 2016). از طرفی، کینوا گیاهی است که علاوه‌بر دانه آن، از برگ گیاهان جوان به‌عنوان سبزی تازه و یا به‌صورت پخته استفاده می‌شود. کل گیاه همچنین به‌عنوان یک منبع غذایی غنی برای تغذیه دام از جمله گاو، خوک و طیور استفاده می‌شود (Bhargava, Shukla, & Ohri, 2006). از آنجاکه کینوا بدون گلوتن و غذایی ارزشمند است، می‌تواند جایگزین برنج شده و به سلامت جامعه کمک کند (Abdellatif, 2018). تمامی این عوامل سبب شده است که توسعه کینوا به‌عنوان یک گیاه مناسب در راستای دستیابی به سیاست‌های جهانی کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد، به‌نحوی‌که طبق آخرین آمار منتشره، در طول ۵۰ سال اخیر، سطح زیرکشت جهانی آن از ۲۹ هزار هکتار در سال ۱۹۷۲ به بیش از ۱۹۳ هزار هکتار و میزان تولید آن از حدود ۱۸ هزار تن به حدود ۱۵۹ هزار تن در سال ۲۰۲۲ رسیده است (FAO, 2024).

در کنار معرفی گیاهان جایگزین مقاوم به شوری، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی یا فیتوهورمون‌ها برای افزایش مقاومت به تنش‌ها، از موضوعاتی است که همیشه از جایگاه ویژه‌ای در بین پژوهشگران برخوردار بوده است. فیتوهورمون‌ها نه‌تنها در رشد گیاه نقش مهمی دارند، بلکه از گیاه در برابر تنش‌های زیست‌محیطی و غیرزنده محافظت می‌کنند. سازوکار آبشاری انتقال سیگنال که توسط هورمون‌های گیاهی ایجاد می‌شود، اهمیت حیاتی در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی دارد (Verma, Ravindran, & Kumar, 2016). این هورمون‌ها در دسته‌هایی شامل اکسین، سیتوکینین، جیبرلین، اسیدآبسیزیک، اتیلن، اسیدسالیسیلیک، جاسمونات‌ها، استریگولاکتون‌ها و براسینوستروئیدها[1] طبقه‌بندی می‌شوند (Zhang, Jia, Yang, & Ismail, 2006). در میان همه این هورمون‌ها، گروه هورمونی براسینواستروئیدها به‌دلیل دخالت آن‌ها در رشد گیاه و سازوکارهای تنش به موضوع مورد علاقه بسیاری از محققان تبدیل شده است. این گروه از هورمون‌های استروئیدی علاوه‌بر عملکرد طبیعی گیاه مانند فتومورفوژنز، رشد سلولی، افزایش طول سلولی، صفاتی همچون جوانه‌زنی بذر و تمایز آوندهای چوبی را نیز کنترل می‌کنند (Sasse, 2003). گزارش‌های مختلف، نقش حیاتی براسینواستروئیدها را در سیگنال‌های واسطه تنش در گیاهان نشان می‌دهند. طیف وسیعی از تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، گرما، شوری، سرما با کمک براسینواستروئیدها تحمل می‌شوند (Kagale, Divi, Krochko, Keller & Krishna, 2007).

با عنایت به موارد ذکرشده و با توجه به تغییرات اجتناب‌ناپذیر آب‌وهوایی کشور، که خشکی و شوری آب و خاک، مزارع و باغات را در پی خواهد داشت، انتظار می‌رود که در آینده، تولید و عرضه محصولات کشاورزی به یک چالش عمده تبدیل شده و نه‌تنها امنیت غذایی مردم، بلکه امنیت و استقلال کشور نیز تحت‌تأثیر قرار گیرد. به همین خاطر، در کنار دیگر راه‌کارهای اساسی برای کاهش پیامدهای این پدیده‌ها، لازم است که در مورد شناسایی ارقام متحمل و گیاهان جایگزین و همچنین استفاده از مواد و روش‌های کمکی برای کاهش اثرات سوء تنش‌ها تحقیقات جامعی صورت پذیرد. به‌همین جهت، پژوهش حاضر با اهداف زیر اجرا گردید:

تعیین میزان کاهش عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد ارقام کینوا با مقاومت متفاوت به شوری در شرایط شوری، در مقایسه با شرایط غیرشور.

1- Brassinosteroids

بررسی و مقایسه اثر ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم (*Brassica oleracea* var. botrytis) بر تعدیل کاهش عملکرد دانه و کیفیت علوفه ارقام کینوای متحمل و حساس به شوری.

مطالعه اثر ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم در تعدیل اثرات منفی شوری بر دیگر صفات ریخت‌شناختی و بیوشیمیایی مهم در ارقام متفاوت از نظر مقاومت به شوری گیاه کینوا.

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت گلدانی و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با چهار تکرار آزمایشی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد واحد مهاباد اجرا شد. دمای روزانه گلخانه ۳±۳۳ و دمای شب ۳±۱۴ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. عوامل آزمایش شامل دو رقم کینوا (تی‌تی‌کاکا متحمل به شوری و ساجما نیمه‌حساس به شوری)، سطوح شوری آب آبیاری در دو سطح (بدون شوری و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و کاربرد مواد تعدیل‌کننده تنش در سه سطح (بدون کاربرد مواد، کاربرد ۲۴-اپی براسینولید و کاربرد عصاره گل کلم[1]) بود.

خاک مورد استفاده از عمق ۳۰ سانتی‌متری مزارع اطراف شهرستان مهاباد (روستای دریاز مهاباد) تهیه و سپس با استفاده الک چهار میلی‌متری غربال و با خاک‌برگ و شن به نسبت مساوی مخلوط شده و در گلدان‌های تهیه‌شده ریخته شد (جدول ۱). به جهت اینکه نمونه‌برداری در مراحل مختلف رشدی انجام گرفت، برای هر تیمار، پنج گلدان یکسان در نظر گرفته شد.

بذور ارقام مورد استفاده شامل دو رقم تی‌تی‌کاکا به‌عنوان رقم متحمل به شوری و ساجما به‌عنوان رقم نیمه‌حساس به شوری (Tavoosi, Anafjeh, & Mahdavi Majd, 2021) از مرکز تحقیقات کشاورزی کرج تهیه و بعد از ضدعفونی طبق دستورالعمل‌های معمول در گلدان‌هایی (با قطر ۲۲ سانتی‌متر دارای زهکش) که قبلاً به این منظور در نظر گرفته شده بودند، کشت شدند.

آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاه، با استفاده از آب شرب شهری و بعد از آن اعمال تنش شوری صورت گرفت. برای اعمال تنش شوری، بعد از تهیه محلول شور ($EC=15\ ds\ m^{-1}$) از منبع سدیم کلرید (MERCK، آلمان)، آبیاری صرفاً با محلول تهیه‌شده انجام شد، با این توضیح که جهت تعدیل وضعیت تیمارها، بعد از هر سه نوبت آبیاری با محلول تهیه‌شده، یک بار آبیاری با آب شرب شهری انجام گردید.

برای تهیه محلول عصاره گل کلم، بعد از حذف برگ‌های گل کلم، قسمت گل آن قطعه‌قطعه و به همراه الکل اتانول ۸۰ درصد در داخل مخلوط‌کن، خرد و آسیاب شد، تا یک محلول یکنواخت تهیه شد. عصاره تهیه‌شده بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای اتاق، با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۱، صاف و سپس الکل آن با استفاده از دستگاه تبخیرکننده دوار در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حذف و تا زمان مصرف، در داخل بطری تیره‌رنگ در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید (Shamon, El-Awadi, Gergis & El-Rorkiek, 2020). محلول‌های تهیه‌شده از عصاره گل کلم و ۲۴-اپی براسینولید (Sigma Aldrich، آمریکا)، به‌ترتیب با دوزهای ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر در دو مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی و گل‌دهی کامل روی تیمارهای مورد مطالعه محلول‌پاشی شدند (Shamon *et al*., 2020). جهت تقویت و افزایش ماده آلی خاک، در ماه دوم بعد از کاشت به هر گلدان مقدار شش گرم اسید هیومیک اضافه گردید.

نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری طول ریشه، وزن‌های خشک ریشه و شاخساره، محتوای نسبی آب برگ، کربوهیدارت‌های محلول برگ، کلروفیل کل و کاروتنوئید، پرولین، فنل و پراکسید هیدروژن ۲۰ روز پس از محلول‌پاشی مرحله اول انجام شد. بعد از رسیدگی کامل دانه، ارتفاع بوته، وزن خشک دانه و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت علوفه اندازه‌گیری شدند.

محتوای نسبی آب برگ از نمونه برگ سبز به‌روش تورنر (Turner, 1981) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کربوهیدارت‌های محلول برگ، نخست ۰/۵ گرم از بافت تازه گیاه به همراه پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در داخل هاون چینی کوبیده شده و بعد از سانتریفیوژ، فاز مایع رویی برداشت شد. در نهایت میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل کل و کارتنوئید، عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد انجام و میزان جذب در سه طول موج ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Cecil CE2501) قرائت شد (Arnon, 1949). برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکاران (Bates, Waldren, & Teare, 1973) استفاده شد. در این روش، میزان جذب لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود در ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر تعیین شد. برای اندازه‌گیری فنل کل، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تر گیاه در داخل هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد کاملاً هموژنیزه شد و جذب توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت شد. از روی منحنی درجه‌بندی (اسید گالیک به‌عنوان استاندارد) مقدار ترکیبات فنولیک کل بر مبنای اسید گالیک برحسب میلی‌گرم بر گرم تعیین شد (Tawaha, Alali, Gharaibeh, Mohammad, & El-Elimat, 2007).

1- Cauliflower

جدول ۱- خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک
Table 1- Physicochemical properties of soil

درصد اشباع Saturation percentage	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	آهک CaO (%)	pH	هدایت الکتریکی Ec (dS m-1)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)
45	45	31	24	28	7.54	0.42	0.81	3495	16.09	0.03

جهت تعیین کیفیت علوفه تولیدی هر تیمار، نمونه هر گلدان بعد از برداشت، به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون خشک، سپس آسیاب و الک گردید. نمونه‌های آماده‌شده، جهت اندازه‌گیری درصد خاکستر[۱]، ماده خشک قابل هضم[۲]، پروتئین خام[۳] و فیبر خام[۴]، کربوهیدرات‌های محلول در آب[۵]، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی[۶] و الیاف نامحلول در شوینده خنثی[۷] با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک[۸] (AOAC, 1999)، به آزمایشگاه مرجع[۹] ارسال شدند.

بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، نسبت به تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS-9.2 اقدام گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی نشان داد که طول ریشه، ارتفاع بوته، وزن خشک شاخساره ($p<0.05$) و وزن خشک دانه ($p<0.01$) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی قرار گرفتند. وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی و شوری × رقم قرار گرفت (جدول ۲).

ویژگی‌های ریخت‌شناختی

طول ریشه و ارتفاع بوته

طول ریشه و ساقه از مناسب‌ترین ویژگی‌هایی هستند که می‌توانند برای ارزیابی تحمل به نمک مورد استفاده قرار گیرند (Shin, Bhandari, Cho, & Lee, 2020)، زیرا ریشه‌ها مسئول جذب آب و شاخه‌ها برای تأمین آب بافت‌های بالای زمین هستند. براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی، با وجود اینکه تنش شوری باعث کاهش طول ریشه هر دو رقم گردید، امّا این مقدار کاهش معنی‌دار نبود (شکل ۱-الف).

محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید تأثیر معنی‌داری بر تحمل شرایط تنش شوری بر رقم متحمل تی‌تی‌کاکا نداشت، بااین‌حال، طول ریشه رقم حساس ساجما با وجود محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید کاهش معنی‌داری یافت. این موضوع نشان می‌دهد که رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بهتر از رقم حساس ساجما به محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید برای افزایش طول ریشه و ارتفاع بوته واکنش نشان می‌دهد. برعکس این وضعیت، محلول‌پاشی با عصاره گل کلم قادر به افزایش قدرت تحمل رقم متحمل در مقایسه با شرایط نرمال نشده و طول ریشه تی‌تی‌کاکا به‌طور غیرمعنی‌داری در شرایط تنش شوری کاهش پیدا کرد. این در حالی بود که محلول‌پاشی با عصاره گل کلم توانست از کاهش معنی‌دار طول ریشه رقم حساس ساجما جلوگیری نماید. مقایسه دو محلول ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم نشان داد که ۲۴-اپی براسینولید بیشتر از عصاره گل کلم در شرایط شوری و نرمال بر مقاومت رقم تی‌تی‌کاکا تأثیر مثبت داشته که این تأثیر در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر بود.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته نشان داد که محلول‌پاشی باعث افزایش ارتفاع بوته در شرایط شوری شد. در همین شرایط، افزایش ارتفاع در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم حساس ساجما بود. این وضعیت نشان داد که رقم متحمل برای افزایش ارتفاع بوته بیشتر از رقم حساس از مواد کمکی تعدیل‌کننده تنش شوری تأثیر می‌پذیرد. مقایسه دو محلول مورد استفاده نشان می‌دهد که در هر دو رقم متحمل و حساس تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشته و برای جلوگیری از کاهش ارتفاع بوته در شرایط شوری، هر دو محلول را می‌توان به‌جای هم به کار برد (شکل ۱-ب).

1- Ash
2- Digestible dry-matter: DMD
3- Crude protein: CP
4- Crude Fiber: CF
5- Water-soluble carbohydrates: WSC
6- Acid detergent Insoluble fiber: ADF
7- Neutral detergent fiber: NDF
8- Near-InfraRed Spectroscopy: NIRS
۹- آزمایشگاه مرکز تحقیقات سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ٢٤-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا

Table 2- Variance analysis results of the effect of salinity and foliar application of 24-epibrasinolide and cauliflower extract on the morphological characteristics of sensitive and tolerant quinoa cultivars to salinity.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		طول ریشه RLt	ارتفاع بوته PHt	وزن خشک ریشه RDW	وزن خشک شاخساره SDW	وزن خشک دانه GDW
شوری Salinity	1	16.51**	101.62**	6.45**	40.02**	3.43**
رقم Cultivar	1	0.12^{ns}	1.64^{ns}	0.26**	28.97**	121.7**
محلول‌پاشی Foliar application	2	35.36**	66.04**	2.15**	13.76**	3.33**
شوری × رقم Salinity × cultivar	1	2.57^{ns}	15.06*	0.54**	3.23**	1.47**
شوری × محلول‌پاشی Foliar application × salinity	2	0.52^{ns}	3.47^{ns}	0.99**	0.471^{ns}	0.317*
رقم × محلول‌پاشی Cultivar × foliar application	2	3.78^{ns}	12.42**	0.06^{ns}	2.02**	1.51**
شوری × رقم × محلول‌پاشی Salinity × cultivar × foliar application	2	7.40*	9.07*	0.009^{ns}	0.99*	1.13**
خطای آزمایشی Error	36	1.52	2.085	0.031	0.213	0.087
ضریب تغییرات CV		12.5	4.6	12.9	11.0	16. 6

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

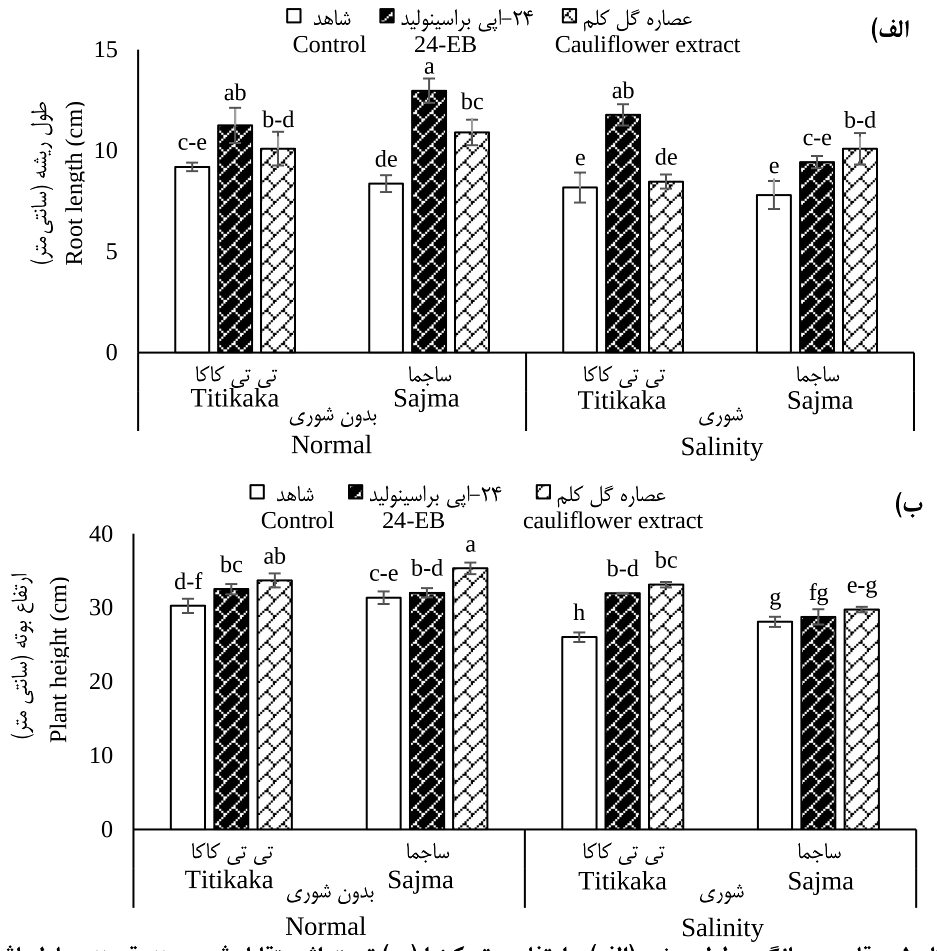
ns, * and ** non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

RLt: root length, PHt: plant height, RDW: root weight, SDW: shoot weight, GDW: grain weight

طبق نتایج بررسی حاضر، تحت شرایط شوری، طول ریشه و ساقه کاهش داشت که این کاهش در رقم ساجاما نسبت به رقم تی‌تی‌کاکا بیشتر بود. محققان کاهش طول ریشه و ساقه را به سمیت و همچنین جذب محدود مواد مغذی و آب به‌دلیل تنش اسمزی مربوط می‌دانند (Ouji, El-Bok, Mouelhi, Younes, & Kharrat, 2015). براسینولید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که نقش‌های متنوعی در تقسیم و گسترش سلولی، طویل شدن ساقه، تمایز آوند چوبی و رشد ریشه ایفا می‌کند (Zheng *et al*., 2016). نتایج مطالعه حاضر با محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید نشان داد که رشد ساقه و ریشه نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش داشت، که این افزایش در ریشه بیشتر بود. این توانایی۲۴-اپی براسینولید در افزایش طویل شدن ریشه و ساقه در شرایط شوری می‌تواند به‌دلیل محدود کردن سمیت نمک توسط این ماده باشد که با تعدیل تقسیم سلولی و طویل شدن و همچنین تمایز سلول‌های بنیادی در مریستم ریشه، باعث افزایش رشد بیشتر ریشه شده که با جذب آب و مواد مغذی و انتقال آن به بخش هوایی، رشد ساقه را نیز در پی داشته است (de Oliveira, Lima, da Silva, Batista, & da Silva Lobato, 2019). در بررسی‌های دیگر پژوهشگران نیز تنش شوری اثر کاهشی بر طول سلول و بافت عدس (*Lens culinaris* Medik.) (Foti, Khah, & Pavli, 2019) و سویا (*Glycine max*) (Pavli, Foti, Skoufogianni, Karastergiou, & Panagou, 2021) داشت. کاهش طول ساقه تحت شوری در بررسی‌های انجام‌یافته بر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) نیز گزارش شده است (Singh, Singh, & Prasad, 2019).

وزن‌های خشک ریشه، شاخساره و دانه

مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × رقم حاکی از کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه‌های هر دو رقم در شرایط شوری دارد، امّا این کاهش در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا (۴۹/۴۹ درصد) بیشتر از رقم حساس ساجاما (۳۳/۶۵ درصد) بود. از طرفی، نتایج نشان داد که در شرایط نرمال، وزن خشک ریشه رقم متحمل (۱۸/۷۵ درصد) بیشتر ($p<0.05$) از رقم حساس بود (شکل ۲-الف).



شکل ۱- مقایسه میانگین طول ریشه (الف) و ارتفاع بوته کینوا (ب) تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی

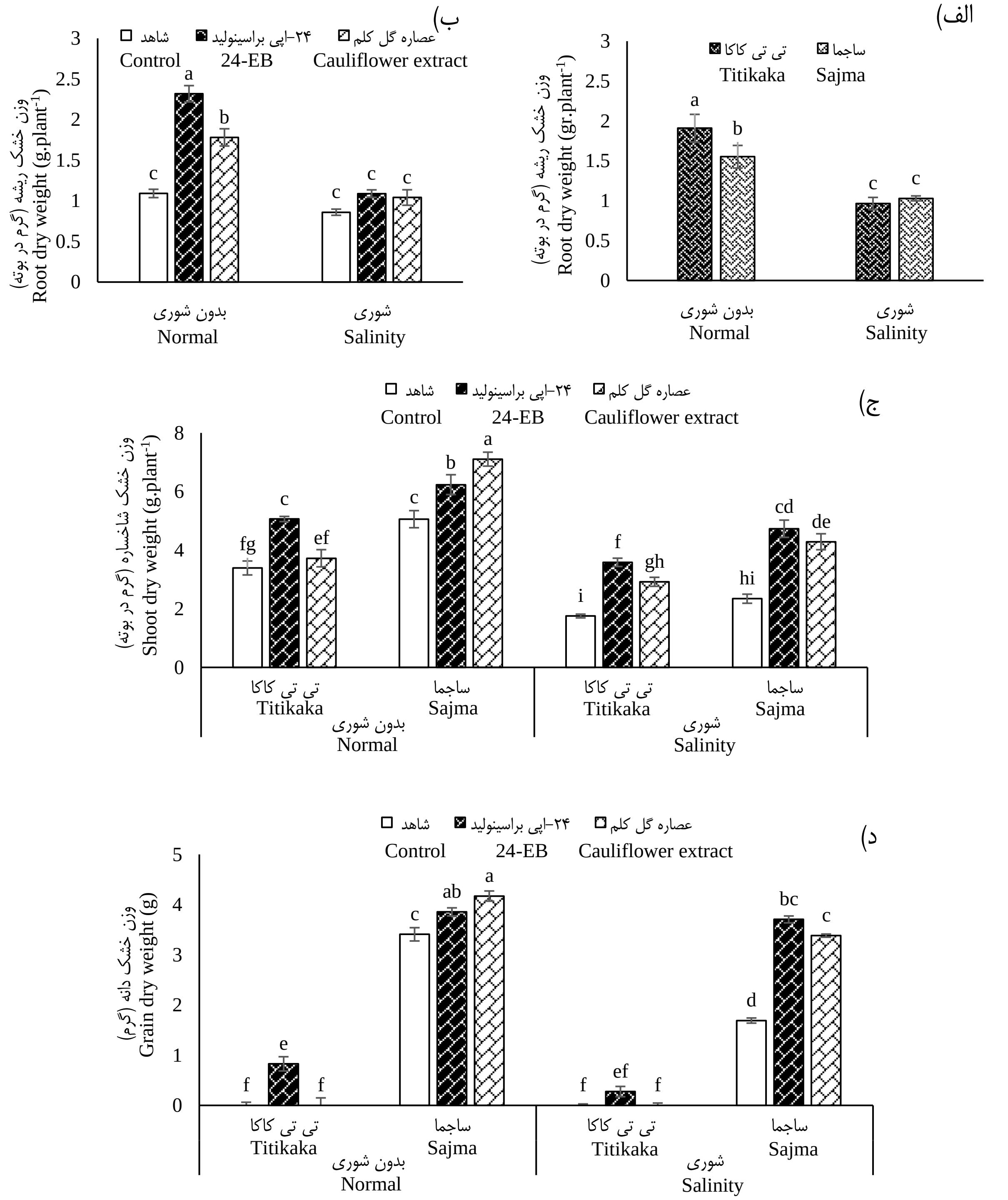
Figure 2- Mean comparison of root length (a) and plant height (b) in interaction effect of salinity × cultivar × foliar application

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی، در شرایط بدون شوری، محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه شد، که در این شرایط تأثیر ۲۴-اپی براسینولید (۵۲/۹۳ درصد) و عصاره گل کلم (۳۸/۷۴ درصد) بیشتر از شاهد بود. بااین‌حال در شرایط تنش شوری، محلول‌پاشی هر دو نوع ماده ضدتنش، تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت (شکل ۲-ب). در بررسی‌های انجام‌یافته روی بادمجان (*Solanum melongena* L.) کاربرد ۲۴-اپی براسینولید سبب افزایش وزن تر و خشک ریشه‌چه در شرایط شوری گردید (Wu, Ding, Zhu, Yang, & Zha, 2012). براسینواستروئیدها با افزایش تقسیم سلولی، افزایش تولید ریشه‌های جانبی و بهبود رشد گیاه باعث افزایش مقاومت به تنش‌ها می‌شوند. به نظر می‌رسد که این چنین پاسخ‌هایی مربوط به توانایی آزادسازی پتانسیل درونی (ژنتیکی) گیاهی برای ریشه‌زایی باشد (Swamy, Rao, & Ram, 2010).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که شوری به‌طور معنی‌داری باعث افت وزن خشک شاخساره هر دو رقم شد (شکل ۲-ج). در شرایط نرمال، عصاره گل کلم بیشتر از ۲۴-اپی براسینولید موجب افزایش وزن خشک شاخساره در رقم حساس ساجما شد، درحالی‌که، در همین شرایط ۲۴-اپی براسینولید بیشتر از عصاره گل کلم در افزایش وزن خشک شاخساره رقم متحمل تی‌تی‌کاکا مؤثرتر بود. با همه این تفاسیر، در تعدیل کاهش وزن خشک شاخساره در شرایط شوری، محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از محلول‌پاشی با عصاره گل کلم بود.



شکل ۲- مقایسه میانگین وزن خشک ریشه تحت اثر متقابل شوری × رقم (الف) و شوری × محلول‌پاشی (ب)، مقایسه میانگین تغییرات وزن خشک شاخساره (ج) و تغییرات وزن خشک دانه کینوا (د) تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی

Figure 2- Mean comparison of root dry weight in the effect of salinity × cultivar (a) and salinity × foliar application (b), mean comparison of shoot dry weight (c) and grain dry weight (d) in effect of salinity × cultivar × foliar application

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین، اثـر متقابـل شـوری × رقم × محلول‌پاشی بر وزن خشک دانه در هر دو شرایط نرمال و شور،

رقم حساس ساجما دارای وزن خشک دانه بیشتری در مقایسه با رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بود (شکل ۲–د). در شرایط نرمال و با تنش شوری، محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک دانه در رقم حساس ساجما در مقایسه با شاهد شد. در عین حال، تفاوت معنی‌داری بین دو محلول در افزایش وزن خشک دانه در این رقم وجود نداشت.

در مورد کاهش وزن خشک اندام‌های گیاه ناشی از شوری گزارش‌های زیادی وجود دارد. علت این اُفت وزن خشک ناشی از تنش شوری، به تحت تأثیر قرار گرفتن تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش ازدیاد طول و در نهایت کاهش رشد گیاه و تنزل پتانسیل زیست‌توده نسبت داده شده است (Ahmad *et al*., 2018). البته علاوه‌بر این، به اختلال در جذب مواد مغذی ضروری که در نهایت باعث کاهش زیست‌توده گیاهان تحت تنش شوری می‌شود نیز اشاره شده است (Parvin, Hasanuzzaman, Bhuyan, Mohsin, & Fujita, 2019). از دیگر عواملی که در پژوهش‌های مختلف به آن اشاره شده است، سمیّت ناشی از افزایش یون سدیم (Na^+) در محیط شور می‌باشد. ثابت شده است که با کاهش غلظت کربن دی اکسید (CO_2) و بسته شدن روزنه‌ها، در امر فتوسنتز اخلال ایجاد می‌شود (Kaymakanova & Stoeva, 2008). تبعات افزایش یون سدیم محیط در شرایط تنش شوری به این موارد محدود نمی‌شود. مشخص شده است که سطوح بالای نمک (Na^+) می‌توانند باعث کاهش سرعت انتقال یون‌های ضروری مانند نیترات (NO^{3-}) شود که این وضعیت باعث می‌شود ترکیبات حاوی نیتروژن کاهش یافته و در نهایت رشد گیاه و تجمع زیست‌توده مهار شود (Chien, Liao, & Wang, & Mannepalli, 2009).

با توجه به موارد ذکرشده، به نظر می‌رسد که کاربرد ۲۴–اپی براسینولید و عصاره گل کلم به‌دلیل توانایی در سم‌زدایی حاصل از تنش شوری از طریق اصلاح پارامترهای مختلف تبادل گازی (Wani, Tahir, Ahmad, Dar, & Nisar, 2017) و کمک به فعالیت‌های فتوسنتزی با افزایش رنگ‌دانه و تنظیمات اسمزی (Yang *et al*., 2018) در تعدیل کاهش وزن خشک اندام‌های گیاه کینوا در شرایط تنش شوری مؤثر می‌باشد.

ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ۲۴–اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی نشان داد که چهار ویژگی مقدار کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول به‌طور معنی‌داری (p<0.05) تحت تأثیر اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی قرار گرفتند. همین نتایج نشان داد که میزان فنل تحت تأثیر محلول‌پاشی و شوری (p<0.01) و دو ویژگی پراکسید هیدروژن و محتوای نسبی آب برگ (p<0.01) تحت اثر متقابل شوری × رقم و محلول‌پاشی قرار گرفتند (جدول ۳).

کلروفیل

نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌جانبه نشان می‌دهد که شرایط تنش شوری نتوانست به‌طور معنی‌داری مقدار کلروفیل کل را کاهش دهد (شکل ۳). در شرایط نرمال، تفاوت معنی‌داری بین دو رقم در مقدار کلروفیل کل در اثر محلول‌پاشی با ۲۴–اپی براسینولید وجود نداشت. همچنین مشاهده گردید که در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری، محلول‌پاشی با هر دو محلول تعدیل‌کننده تنش، منجر به افزایش مقدار کلروفیل کل می‌شود. در شرایط تنش، اثر مثبت عصاره گل کلم در رقم حساس ساجما بیشتر از رقم متحمل بود. از طرفی، تفاوت معنی‌داری بین دو محلول در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا دیده نشد، درصورتی‌که در رقم حساس ساجما تأثیر مثبت ۲۴–اپی براسینولید در افزایش کلروفیل کل به‌طور معنی‌داری بیشتر از عصاره گل کلم بود. رنگ سبز گیاهان مانند دمای بدن در جانوران می‌تواند شاخصی برای سلامت گیاه مورد استفاده قرار گیرد، به همین جهت غلظت کلروفیل برگ که نشانگر تشکیل سبزینه است، گویای کارآیی فتوسنتزی و سلامت عمومی گیاهان می‌باشد. بررسی‌های انجام‌یافته روی سویا نشان می‌دهد که شوری اثر کاهشی شدیدی بر مقدار کلروفیل داشته، امّا با محلول‌پاشی براسینولید و بهبود تشکیل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی تحت این ماده تعدیل‌کننده، تولید کلروفیل در شرایط شوری بهبود می‌یابد (Otie *et al*., 2021). در پژوهشی دیگر مشاهده شد که کاربرد اپی‌براسینولید منجر به افزایش محتوای کلروفیل کل در گیاه گوجه‌فرنگی در تمام سطوح شوری می‌شود (Maia Júnior *et al*., 2022).

کاروتنوئید

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که شوری در هر دو رقم و تحت محلول‌پاشی و عدم محلول‌پاشی، منجر به کاهش مقدار کاروتنوئید شد (شکل ۴). با این وجود، این مقدار کاهش در رقم حساس به شوری ساجما معنی‌دار نبود. در شرایط نرمال، میزان کاروتنوئید در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم حساس ساجما بود. در شرایط تنش شوری بین دو رقم تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار کاروتنوئید مشاهده نشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ۲٤-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر ویژگی‌های بیوشیمیایی ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا

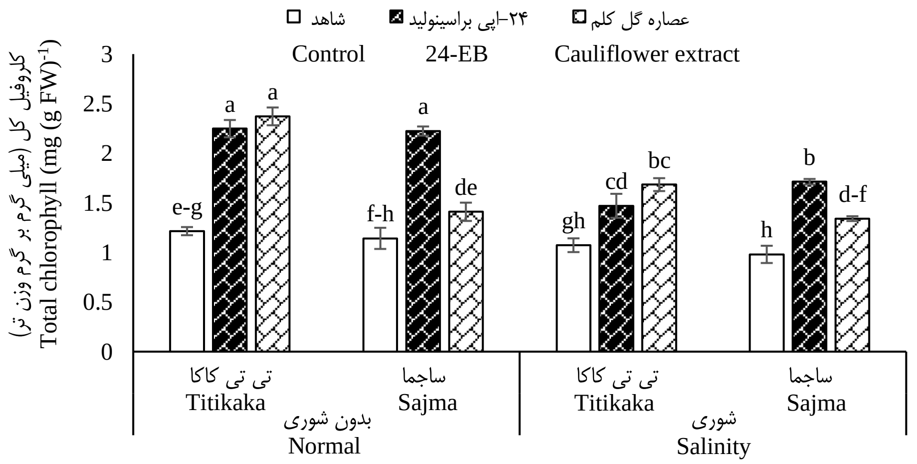
Table 3- Variance analysis results of the effect of salinity and foliar application of 24-epibrasinolide and cauliflower extract on the biochemical of sensitive and tolerant quinoa cultivars to salinity.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		کلروفیل کل CHL	کاروتنوئید CAR	پرولین PRL	فنل PHN	کربوهیدارت-های محلول برگ LSF	محتوای نسبی آب برگ LWC	پراکسید هیدروژن H_2O_2
شوری Salinity	1	1.84**	0.30**	0.09**	1.74**	4.17**	740.60**	0.10**
رقم Cultivar	1	0.522**	0.05**	0.02**	0.08^{ns}	0.02^{ns}	263.63**	0.01*
محلول‌پاشی Foliar application	2	2.93**	0.20**	0.03**	0.67**	1.54**	176.35**	0.15**
شوری × رقم Salinity × cultivar	1	0.24**	0.08**	0.01**	0.02^{ns}	1.53**	123.69**	0.06**
شوری × محلول‌پاشی Salinity × foliar application	2	0.24**	0.01**	0.01**	0.09^{ns}	0.04^{ns}	10.48^{ns}	0.01^{ns}
رقم × محلول‌پاشی Cultivar × foliar application	2	0.63**	0.01*	0.01**	0.04^{ns}	0.79**	1.35^{ns}	0.003^{ns}
شوری × رقم × محلول‌پاشی Salinity × cultivar × foliar application	2	0.10*	0.01*	0.003*	0.09^{ns}	0.07*	6.98^{ns}	0.002^{ns}
خطای آزمایشی Error	36	0.02	0.002	0.001	0.03	0.02	16.22	0.002
ضریب تغییرات CV		9.8	7.8	10.4	9.9	9.3	8.3	9.6

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

CHL: total chlorophyll, CAR: carotenoid, PRL: proline, PHN: phenol, LSF: leaf soluble carbohydrates, LWC: relative leaf water content, H_2O_2: hydrogen peroxide



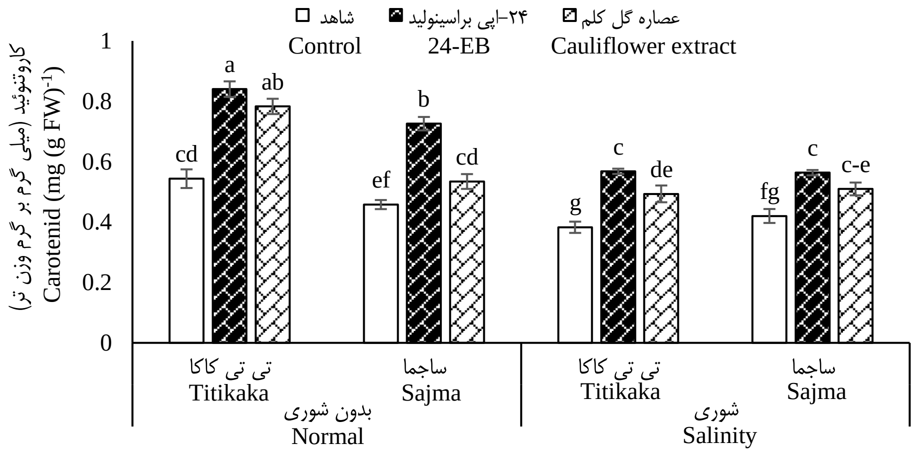
شکل ۳- مقایسه میانگین تغییرات مقدار کلروفیل کل برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی.

Figure 3- Mean comparison of total chlorophyll of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

مقایسه مواد تعدیل‌کننده تنش نشان می‌دهد که در شرایط تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین دو ماده ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم وجود نداشت. بااین‌حال در شرایط نرمال ۲۴-اپی براسینولید به‌طور معنی‌داری بیشتر از عصاره گل کلم باعث افزایش کاروتنوئید شد. در شرایط تنش شوری، کارآیی استفاده از کربن در گیاه کاهش یافته و تولید اتانول و لاکتات افزایش پیدا می‌کند. این دو از عواملی هستند که سبب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل در شرایط تنش می‌شوند (Oliveira Neto *et al.*, 2009). طبق نتایج حاصل از بررسی حاضر، مقدار کاروتنوئید برگ تحت تنش شوری کاهش داشته و محلول‌پاشی (با هر دو ماده تعدیل‌کننده تنش) در هر دو شرایط (تنش شوری و نرمال) باعث افزایش مقدار کاروتنوئید برگ شد. نتایج بررسی حاضر همسو با تحقیقاتی است که توسط پاندا و همکاران (Panda, Ghosh, & Kar, 2013)، روی برنج انجام گرفته بود. در بررسی‌پوراسدالهی و همکاران (Pourasadollahi, Siosemardeh, Hosseinpanahi, & Sohrabi, 2020)، مقدار کاروتنوئید برگ سیب‌زمینی تحت محلول‌پاشی اپی‌براسینولید افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت.



شکل ٤- مقایسه میانگین تغییرات مقدار کاروتنوئید برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی

Figure 4- Mean comparison of carotenoid of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

پرولین

تنش شوری در هر دو رقم و تحت محلول‌پاشی با هر دو ماده تعدیل‌کننده موجب افزایش معنی‌دار پرولین گردید (شکل ۵). در شرایط تنش شوری و نرمال در هر سه تیمار محلول‌پاشی، مقدار پرولین در رقم حساس ساجما به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بود. مقایسه دو محلول تعدیل‌کننده تنش نشان می‌دهد که در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری بین دو محلول وجود نداشت، ولی در شرایط تنش شوری مقدار پرولین در محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید در مقایسه با عصاره گل کلم به‌طور معنی‌داری بیشتر بود.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که در شرایط تنش شوری، پرولین در مقایسه با دیگر آمینواسیدها بیشتر تولید و در سلول‌ها ذخیره می‌شود (Teakle & Tyerman, 2010). این اسیدآمینه با تنظیم فشار اسمزی و افزایش پایداری غشاء سلولی، تأثیر تعیین‌کننده‌ای در کاهش اثر شوری بر تخریب غشاء سلولی دارد (Melchiorre *et al.*, 2009). محققان معتقد هستند که پرولین تحت تنش شوری، جذب آب را افزایش داده و از این طریق موجب کاهش تجمع یون‌های سمی در گیاه شده که این امر در نهایت منجر به القاء سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Zhang & Dai, 2019; Ismail & Horie, 2017). گزارش‌های متعددی در مورد افزایش سطح پرولین تحت تنش شوری در گیاهانی مانند آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Ramaswamy & Seeta, 2018)، گندم (Akbari, Toorchi, & Shakiba, 2016) و یونجه (Mezni, Albouchi, Bizid, & Hamza, 2010) وجود دارد که نتایج حاصل از تحقیقات حاضر را تأیید می‌کند.

از سوی دیگر، بررسی حاضر نشان می‌دهد که تحت تنش شوری و محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم، مقدار پرولین برگ هر دو رقم حساس و متحمل کینوا افزایش پیدا می‌کند. بررسی قاسمی و همکاران (Ghasemi, Jahanbin, Latifmanesh, Farajee, & Mirshekari, 2021) نیز با تأیید نتایج به‌دست‌آمده

نشان داد که با کاربرد براسینولید میزان پرولین برگ آفتابگردان افزایش معنی‌داری داشت. در بررسی‌های دیگری مشخص شد که کاربرد براسینولید سبب افزایش مقدار پرولین سورگوم (*Sorghum vulgare* Pers.) در مناطق شور شده و این افزایش با بالاتر رفتن میزان شوری منطقه، بیشتر شد (Vardhini, 2012). در پژوهشی دیگر روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، سطح پرولین افزایش قابل‌توجهی در پاسخ به ۲۴-اپی براسینولید و همچنین به تنش شوری نشان داد (Rady, 2011).

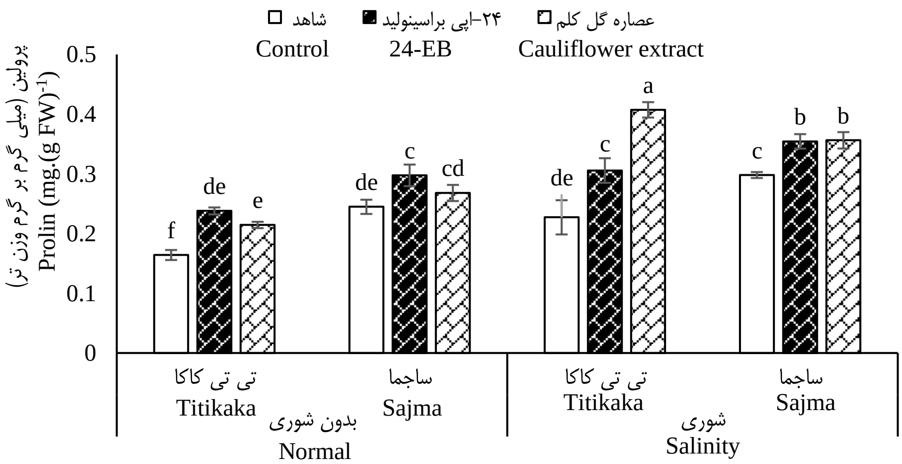
فنل کل

نتایج نشان می‌دهد که تحت تنش شوری، محتوای فنل کل افزایش معنی‌داری (۱۹/۷۶ درصد) داشت (شکل ۶-الف). محتوای فنل کل، با محلول‌پاشی توسط تعدیل‌کننده‌های تنش شوری افزایش پیدا کرد، امّا این افزایش توسط عصاره گل کلم غیرمعنی‌دار بود. مقایسه بین دو محلول مورد استفاده نشان می‌دهد، تفاوت معنی‌داری بین دو محلول از نظر افزایش محتوای فنل کل وجود نداشت (شکل ۶-ب).

یکی از سازوکارهای دفاعی غیرآنزیمی در مقابله با تنش‌های محیطی، تولید و تجمع ترکیبات فنلی است که به جمع‌آوری پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تولیدشده به‌واسطه تنش در سلول‌های گیاهی کمک می‌کند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که تنش شوری باعث افزایش محتوای فنل کل در گیاه کینوا شد. در پژوهشی دیگر نیز فیروزه و همکاران (Firoozeh, Khavarinejad, Najafi, & Saadatmand, 2019) نشان دادند که تحت تنش شوری، محتوای فنل کل در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. در پژوهشی دیگر، چراغی و همکاران (Cheraghi, Hatamnia, & Ghanbari, 2023) نشان دادند که با افزایش شوری، محتوای فنل کل گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند. طبق نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، مقدار فنل کل تحت محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید افزایش معنی‌داری داشت. در بررسی محمدی خلیفه لوئی و همکاران (Mohammadi Khalifelouiy, Abbasifar, Khadivi, & Akramian, 2020) بر مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.)، محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش معنی‌دار فنل کل شد که تأییدکننده نتایج بررسی حاضر است.

کربوهیدارت‌های محلول برگ

مقایسه میانگین مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ ارقام کینوا نشان می‌دهد که تنش شوری موجب افزایش مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ شد. در شرایط نرمال بین دو رقم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، درحالی‌که در شرایط تنش شوری، محتوای کربوهیدرات‌های محلول رقم متحمل تی‌تی‌کاکا به‌طور معنی‌داری (بیش از دو برابر) بیشتر از رقم حساس ساجما بود (شکل ۷).

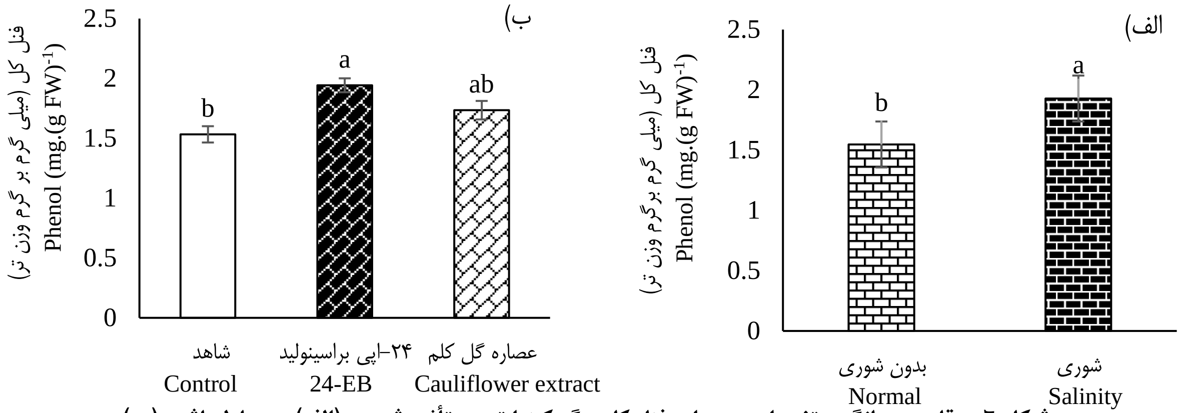


شکل ۵- مقایسه میانگین تغییرات پرولین برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی.

Figure 5- Mean comparison of prolin of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application.

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

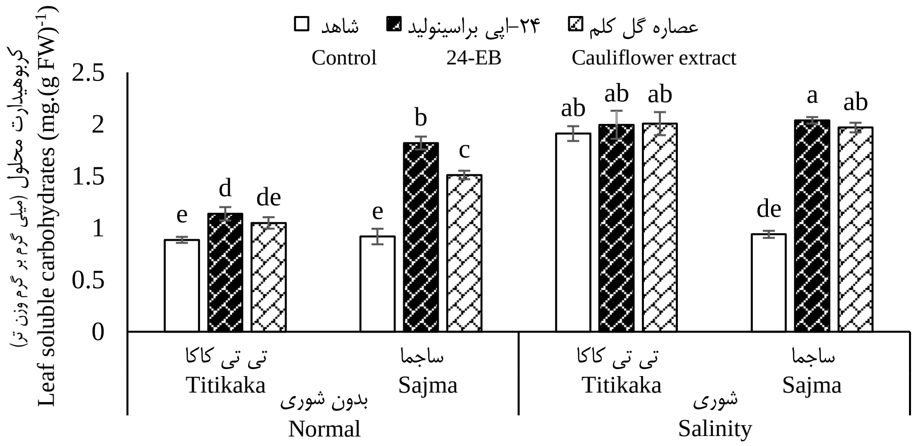


شکل ٦- مقایسه میانگین تغییرات محتوای فنل کل برگ کینوا تحت تأثیر شوری (الف) و محلول‌پاشی (ب)

Figure 6- Mean comparison of phenol content of quinoa leaf in effect of salinity (a) and foliar application (b).

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).



شکل ۷- مقایسه میانگین تغییرات کربوهیدارت‌های محلول برگ کینوا تحت اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی

Figure 7- Mean comparison of leaf soluble carbohydrates of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar × foliar application

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

به نظر می‌رسد که احتمالاً یکی از راهکارهای مهم در ارقام متحمل کینوا برای مقابله با شوری، تجمع کربوهیدرات‌های محلول در شرایط شوری باشد. در هر دو شرایط شوری و نرمال، محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش شوری موجب افزایش محتوای کربوهیدرات‌های محلول گردید، هر چند تفاوت معنی‌داری بین مواد تعدیل‌کننده و شاهد در رقم تی‌تی‌کاکا در شرایط شوری وجود نداشت. در شرایط تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین دو محلول مورد استفاده در افزایش مقدار کربوهیدرات‌های محلول دیده نشد، لذا به نظر می‌رسد که از هر دو محلول می‌توان برای تعدیل اثرات شوری به‌جای هم استفاده نمود.

تولید و انباشت اسمولیت‌ها در سیتوپلاسم جهت حفظ تعادل اسمزی از راهکارهای مهم گیاهان برای مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی مانند شوری و خشکی است. گیاهان از این طریق باعث بهبود جذب آب از محیط و افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شوند (Liang, Ma, Wan, & Liu, 2018).

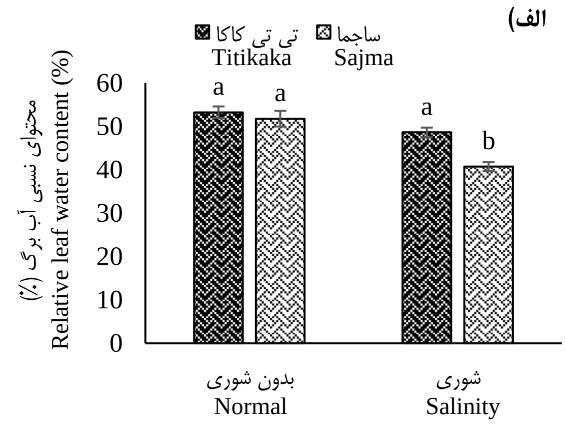
پژوهش‌های انجام‌یافته روی گوجه فرنگی نشان داد که در پاسخ به تنش شوری، مقدار کربوهیدرات‌های محلول روند افزایشی پیدا کرد (Xue-feng Lin, Hong-Tao XIE, Mu-kui Yu, & Shun-Wei Chen, 2018)، که این گزارش با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد. در همین راستا، سو و همکاران (Su, Zheng, Tian, & Wang, 2020) نشان دادند که در شرایط تنش شوری، محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا

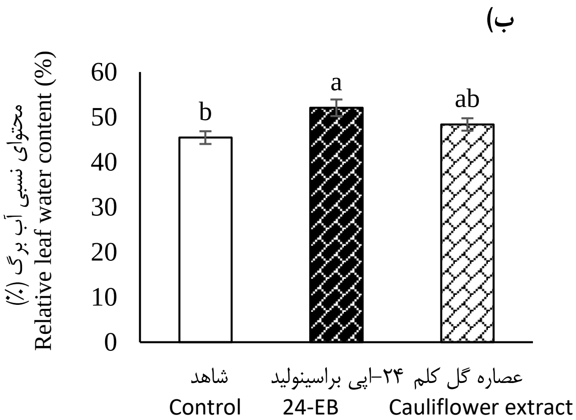
می‌کند. ایشان گزارش کردند که کاربرد براسینولید، محتویات پرولین و کربوهیدرات‌های محلول را افزایش می‌دهد. همسو با این گزارشات، مطالعه انجام‌یافته روی گندم نشان داد که استفاده از براسینولید موجب افزایش قابل توجه محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش شوری شد که می‌تواند تا حدودی باعث محافظت گیاهان از اثرات نامطلوب سمیت شوری شود (Yusuf, Fariduddin, Khan, & Hayat, 2017). نتایج تحقیق پوراسدالهی و همکاران (Pourasadollahi *et al*., 2020) نشان داد که محلول‌پاشی اپی براسینولید اثر افزایشی معنی‌داری بر مقدار کربوهیدرات برگ سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) داشت. جمیع این نتایج نشان می‌دهد که از طریق محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده می‌توان گیاهان را در مقابل تنش شوری به‌طور قابل ملاحظه‌ای مقاوم نمود.

محتوای نسبی آب برگ

مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ ارقام در شرایط نرمال و تنش شوری نشان می‌دهد که در شرایط نرمال، تفاوت معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ دو رقم وجود نداشت، درحالی‌که در شرایط تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بیشتر از رقم حساس ساجما بود (شکل ۸-الف). همچنین داده‌ها نشان می‌دهند که شرایط تنش تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ رقم متحمل تی‌تی‌کاکا در مقایسه با شرایط نرمال نداشت، درحالی‌که محتوای نسبی آب برگ رقم حساس به شوری ساجما در شرایط تنش شوری کاهش معنی‌داری (۲۱/۳۵ درصد) پیدا کرد. مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ تحت محلول‌پاشی نشان می‌دهد که محلول‌پاشی با ۲۴-اپی‌براسینولید موجب افزایش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ (۱۲/۷۳ درصد) نسبت به شاهد شد، امّا تحت محلول‌پاشی عصاره گل کلم، افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (شکل ۸-ب).

در شرایط شور، گیاهان به‌دلیل عدم تعادل در فشار اسمزی در سلول‌های گیاهی، دچار تنش اسمزی می‌شوند. علاوه‌بر این، تجمع نمک در مناطق ریشه، پتانسیل آب ریشه را کاهش داده و جذب آب را محدود می‌کند، که در نهایت به کاهش محتوای نسبی آب برگ منجر می‌شود (Otie *et al*., 2021). نتایج مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi,Asgarian, Gholami, & Karami, 2019) نشان داد که تحت تنش شوری، محتوای نسبی آب برگ کاهش قابل توجهی نسبت به عدم شوری داشت، امّا با کاربرد ۲۴-اپی‌براسینولید، تا حد زیادی اثرات منفی شوری بر کاهش محتوای نسبی آب برگ کاهش پیدا کرد. اثر افزایشی ۲۴-اپی براسینولید بر محتوای نسبی آب برگ تحت تنش شوری را می‌توان به توانایی منحصربه‌فرد این هورمون در ارتقاء و بهبود پایداری غشاء و سازوکارهای فیزیولوژیکی گیاهان در مقابله با هرگونه کمبود در جذب آب در برابر تنش‌های ناشی از شوری نسبت داد (Wu, Zhang, Ervin, Yang, & Zhang, 2017). در بررسی فرضی امین آباد و همکاران (Farzi-Aminabad, Nasrollah Zadeh & Ghassemi-Golezani, 2021)، محتوای نسبی آب برگ گلرنگ تحت محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید افزایش معنی‌داری داشت که با نتایج حاصل از این بررسی مطابقت دارد.





شکل ۸- مقایسه میانگین تغییرات محتوای نسبی آب برگ تحت اثر متقابل شوری × رقم (الف) و محلول‌پاشی (ب)

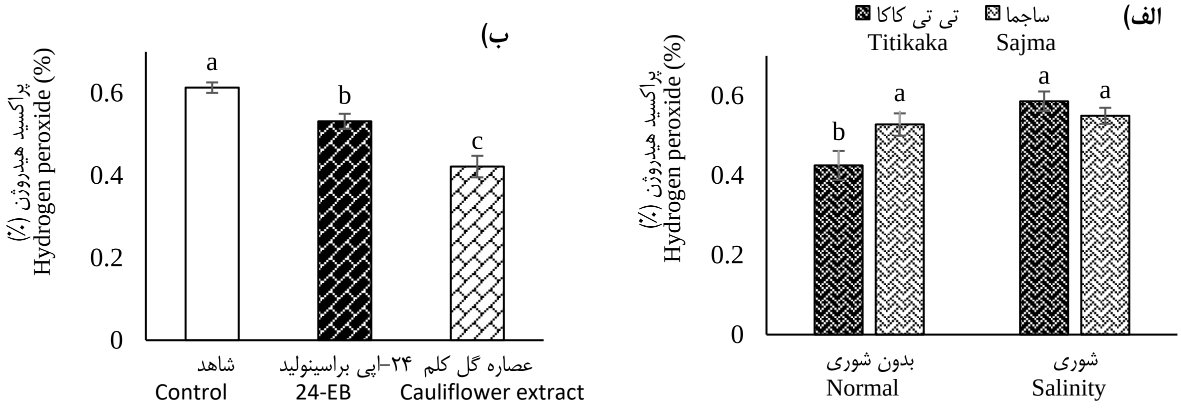
Figure 8- Mean comparison of relative leaf water content of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

مقایسه میانگین درصد پراکسید هیدروژن نشان می‌دهد که در شرایط نرمال، مقدار H_2O_2 در رقم حساس ساجما به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم متحمل تی‌تی‌کاکا بود. با این وجود در شرایط تنش شوری، تفاوت معنی‌داری بین درصد پراکسید هیدروژن این دو رقم مشاهده نشد. از طرفی، نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با شرایط نرمال، درصد پراکسید هیدروژن رقم متحمل در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، ولی این افزایش برای رقم حساس ساجما معنی‌دار نبود (شکل ۹-الف). مقایسه میانگین درصد پراکسید هیدروژن اثر محلول‌پاشی نشان می‌دهد که هر دو محلول اثر معنی‌داری بر کاهش H_2O_2 در برگ کینوا داشتند، ولی جالب اینکه تأثیر عصاره گل کلم در این کاهش (۳۱/۲۲ درصد)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از ۲۴-اپی براسینولید (۱۳/۳۲ درصد) بود (شکل ۹-ب). بررسی‌ها نشان می‌دهند که تحت شرایط تنش شوری محتوای H_2O_2 به‌شدت افزایش پیدا می‌کند، ولی کاربرد براسینولید می‌تواند مقدار آن را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد (Su *et al*., 2020). محققان دیگری نیز بر اثر براسینولید در کاهش آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری و متعاقب آن تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) تأکید کرده‌اند (Lopez-Gomez, Hidalgo-Castellanuos, Lluch, & Herrera-Cervera, 2016).



شکل ۹- مقایسه میانگین تغییرات پراکسید هیدروژن برگ تحت اثر متقابل شوری × رقم (الف) و محلول‌پاشی (ب)

Figure 9- Mean comparison of hydrogen peroxide of quinoa leaf in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

کیفیت علوفه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌طور معنی‌داری (p<0.01) تحت تأثیر اثر متقابل شوری × رقم × محلول‌پاشی قرار گرفت. پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (p<0.05) تحت تأثیر اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی و رقم × محلول‌پاشی قرار گرفتند. همچنین نتایج نشان می‌دهند که اثر محلول‌پاشی و اثر متقابل شوری × رقم بر درصد ماده خشک قابل هضم و کربوهیدرات‌های محلول در آب معنی‌دار (p<0.01) بودند. از طرفی مشخص شد که درصد خاکستر تحت تأثیر اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی (p<0.05) و اثر شوری (p<0.01) قرار گرفت. با همه این احوال، فیبر خام، تحت تأثیر هیچ‌کدام از اثرات متقابل قرار نگرفت و فقط اثرات اصلی این ویژگی را تحت تأثیر (p<0.01) قرار دادند (جدول ۴).

درصد ماده خشک قابل هضم

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × رقم نشان می‌دهد که در هر دو شرایط نرمال و تنش شوری، بین دو رقم تفاوت معنی‌داری از نظر درصد ماده خشک قابل هضم وجود نداشت (شکل ۱۰-الف). بااین‌حال، در مقایسه با شرایط نرمال، ماده خشک قابل هضم هر دو رقم تی‌تی‌کاکا و ساجما تحت تنش شوری (به‌ترتیب ۱۲/۵۲ و ۱۸/۵۴ درصد) کاهش یافت.

نتایج نشان می‌دهد که محلول‌پاشی با ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم باعث افزایش به‌ترتیب ۱۲/۲۵ و ۱۳/۵۶ درصدی ماده خشک قابل هضم علوفه نسبت به شاهد شد، هرچند بین دو نوع محلول تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱۰-ب).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی ٢٤-اپی براسینولید و عصاره گل کلم بر کیفیت علوفه ارقام حساس و متحمل به شوری کینوا

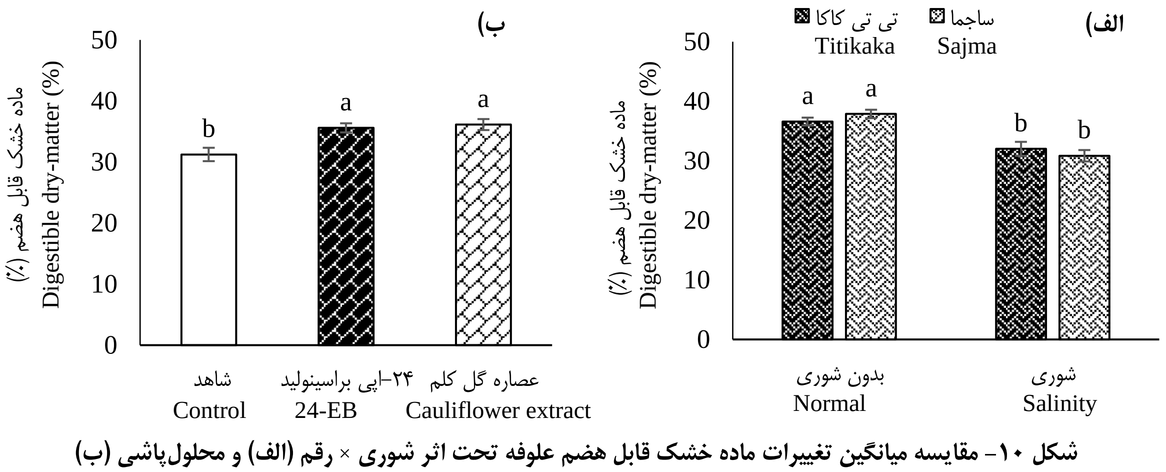
Table 4- Variance analysis results of the effect of salinity and foliar application of 24-epibrasinolide and cauliflower extract on forage quality of sensitive and tolerant quinoa cultivars to salinity.

منبع تغییرات S.V.O	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares ماده خشک قابل هضم علوفه DMD	پروتئین خام علوفه CPr	کربوهیدارت-های محلول در آب علوفه WSC	فیبر خام علوفه CFF	درصد خاکستر علوفه Ash	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه NDF	الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه ADF
شوری Salinity	1	403.98**	9.29**	18.50**	128.18**	2.67**	138.17**	188.49**
رقم Cultivar	1	0.045^{ns}	8.74**	2.27*	154.51**	0.070*	66.83**	223.26**
محلول‌پاشی Foliar application	2	115.57**	17.08**	11.73**	131.81**	1.95**	965.51**	98.89**
شوری × رقم Salinity × cultivar	1	17.92**	1.31*	7.39**	0.97^{ns}	0.015^{ns}	23.63*	6.99^{ns}
شوری × محلول‌پاشی Salinity × foliar application	2	13.05^{ns}	0.84*	1.004^{ns}	2.26^{ns}	0.131^{ns}	21.14*	18.40**
رقم × محلول‌پاشی Cultivar × foliar application	2	1.63^{ns}	2.07*	0.082^{ns}	14.15^{ns}	0.427*	22.93*	13.70**
شوری × رقم × محلول‌پاشی Salinity × cultivar × foliar application	2	10.55^{ns}	0.52^{ns}	0.86^{ns}	9.54^{ns}	0.114^{ns}	15.09^{ns}	21.08**
خطای آزمایشی Error	36	4.006	0.18	0.461	5.46	0.124	5.12	2.46
ضریب تغییرات CV		5.8	8.0	5.3	5.2	5.3	4.7	2.6

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and ** non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

DMD: digestible dry-matter, CPr: crude protein of forage, WSC: water-soluble carbohydrates of forage, CFF: crude fiber of forage, Ash: forage ash percentage, ADF: acid detergent Insoluble fiber of the forage, NDF: neutral detergent fiber



شکل ۱۰- مقایسه میانگین تغییرات ماده خشک قابل هضم علوفه تحت اثر شوری × رقم (الف) و محلول‌پاشی (ب)

Figure 10- Mean comparison of digestible dry-matter of quinoa in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

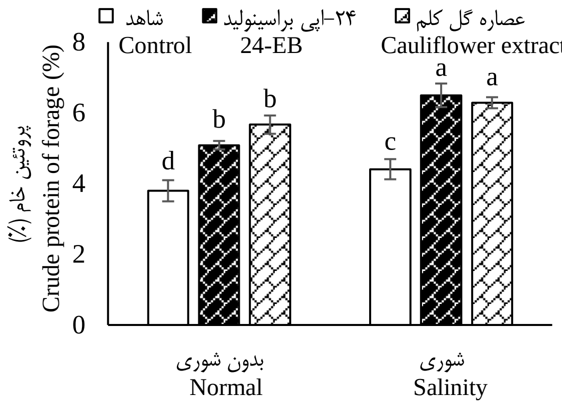
علت پایین بودن ماده خشک قابل هضم در شرایط اعمال تنش را می‌توان ناشی از کاهش تعداد، سطح برگ و افزایش نسبت ساقه به برگ دانست که در نهایت منجر به افزایش مقادیر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی می‌شود. افزایش ماده خشک قابل هضم تحت اثر مواد محلول تعدیل‌کننده تنش می‌تواند به‌دلیل نقش این مواد در کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی باشد. قابلیت هضم بالا یکی از عوامل کیفیت بهتر علوفه است (Ferreira, Cornacchione, Liu, & Suarez, 2015). لذا به نظر می‌رسد که شوری باعث اُفت کیفی علوفه از لحاظ قابلیت هضم شده، ولی محلول‌پاشی با ایجاد سازوکارهایی می‌تواند از به‌طور معنی‌داری کاهش کیفیت بکاهد. با توجه به غیرمعنی‌دار بودن تفاوت دو ماده تعدیل‌کننده مورد استفاده، به‌کارگیری عصاره گل کلم می‌تواند از نظر اقتصادی و حفظ بهداشت محیط توجیه‌پذیرتر باشد. بررسی انجام‌یافته روی سورگوم نشان می‌دهد که درصد ماده خشک قابل هضم این گیاه تحت تنش شوری کاهش پیدا می‌کند (Tokas *et al*., 2021). این نتایج با یافته‌های حاصل از بررسی حاضر مطابقت دارد.

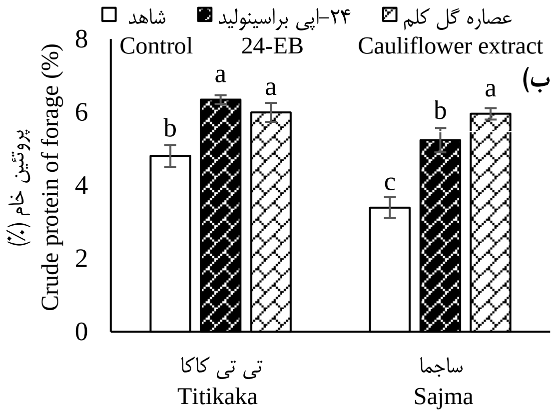
پروتئین خام

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی نشان می‌دهد که شوری باعث افزایش معنی‌دار مقدار پروتئین خام علوفه می‌شود (شکل ۱۱-الف). همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که در هر دو شرایط، بین دو محلول تعدیل‌کننده تنش، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × محلول پاشی نشان می‌دهد که محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار پروتئین خام علوفه شد، ولی در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا، بین دو محلول مورد استفاده تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱۱-ب). بااین‌حال مقدار افزایش درصد پروتئین خام علوفه در رقم حساس ساجما در محلول‌پاشی با عصاره گل کلم به‌طور معنی‌داری، بیشتر از محلول‌پاشی با محلول ۲۴-اپی براسینولید بود. به همین دلیل، به‌نظر می‌رسد که با توجه به سازگار بودن با طبیعت و در دسترس بودن گل کلم، برای افزایش پروتئین خام بهتر است از عصاره گل کلم استفاده نمود.

از دیگر عوامل تعیین‌کننده کیفیت علوفه، می‌توان به پروتئین خام بالای آن اشاره نمود. گزارش شده است که تنش شوری با افزایش درصد پروتئین خام علوفه، تأثیر مثبتی بر کیفیت یونجه دارد (Ferreira *et al*., 2015). همان‌طور که گفته شد، در پژوهش حاضر، تنش شوری اثر افزایشی بر درصد پروتئین خام هر دو رقم حساس و متحمل کینوا داشت. پژوهش‌های دیگر محققان نیز نشان می‌دهد که شوری با افزایش درصد پروتئین خام یونجه رابطه مستقیم دارد (Suyama *et al*., 2007; Qiu *et al*., 2023). افزایش سنتز پروتئین و جذب نیتروژن توسط هورمون براسینولید می‌تواند دلیلی بر افزایش پروتئین خام علوفه باشد که در نتایج پژوهش حاضر در محلول‌پاشی ۲۴-اپی‌براسینولید، درصد پروتئین خام علوفه افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت.





شکل ۱۱- مقایسه میانگین تغییرات پروتئین خام علوفه کینوا تحت اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی (الف) و اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی (ب)

Figure 11- Mean comparison of crude protein of forage in effect of salinity × foliar application (a) and cultivar × foliar application (b)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

کربوهیدرات‌های محلول در آب

بـالا بـودن درصـد کربوهیـدرات‌های محلـول در آب یکـی از تعیین‌کننده‌تـرین شـاخص‌هـای کیفیـت علوفـه بـه حساب مـی‌آیـد (Humphreys, 1999). نتـایج مقایسـه میـانگین درصـد کربوهیدرات‌های محلول در آب نشان می‌دهد که درصد ایـن مـواد در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا در شرایط تنش به‌طور معنی‌داری افزایش پیـدا کرد، درحالی‌که تفاوت معنی‌داری بین شرایط نرمال و تنش شوری در رقم حساس ساجما مشاهده نشد (شکل ۱۲-الـف). همچنـین نتـایج نشان داد که محلول‌پاشی به‌طـور معنـی‌داری باعـث افـزایش درصـد کربوهیدرات‌های محلول در آب می‌شود و جالب اینکه بین دو محلول از نظـر افـزایش درصـد کربوهیـدرات‌های محلـول در آب تفـاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۲-ب).

کربوهیـدرات‌های محلـول در آب علاوه‌بـر نقـش مهمـی کـه در افزایش کیفیت علوفـه دارنـد، اثـر بـالقوه‌ای در مقاومـت بـه سـرما و مقاومت بـه چـرای دام نیـز دارا هسـتند، بنـابراین از آن‌هـا بـه‌عنوان مهم‌تـرین ویژگـی کیفـی بعـد از قابلیـت هضـم نـام بـرده می‌شـود (Humphreys, 1999). در بررسی حاضر، تحت تنش شوری، درصد کربوهیدرات‌های محلـول در آب علوفـه افـزایش داشـت. ایـن نتـایج هم‌راستا بـا یافتـه‌های توکـاس و همکـاران (Tokas *et al*., 2021) است.

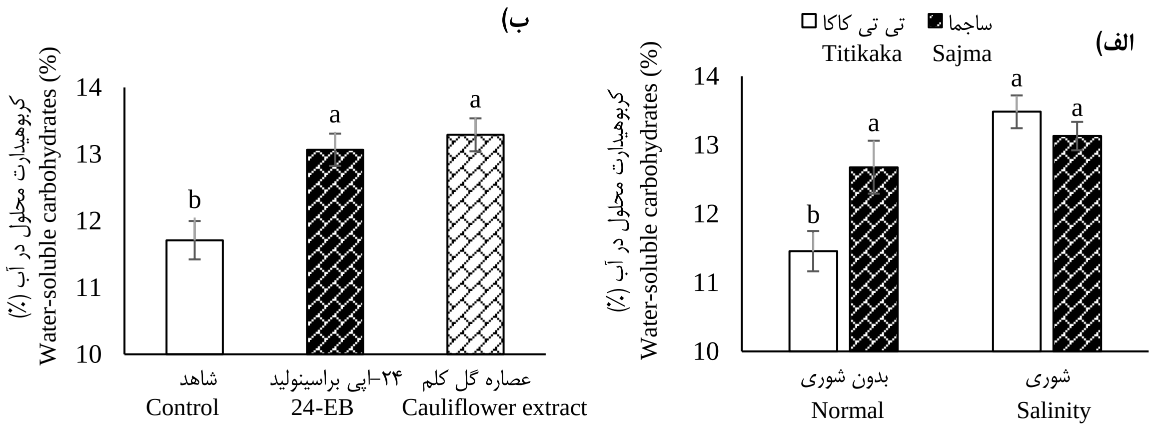
فیبر خام

محتوای فیبر کم در کنار محتوای پروتئین بالا، در افزایش قابلیت هضم و خوش خوراکی علوفه مؤثر بوده و موجب افـزایش کیفیـت آن می‌شود (Ferreira *et al*., 2015). نتایج نشان داد که شوری به‌طـور قابل‌توجهی موجب افزایش فیبر خام شده و بـه ایـن شـیوه از قابلیـت هضم و کیفیت علوفه کینـوا مـی‌کاهـد (شـکل ۱۳-الـف). از طرفـی، مشاهده شد که رقم متحمل تی‌تی‌کاکا در مقایسه با رقم حسـاس بـه شوری ساجما از مقدار فیبـر کمتـری برخـوردار بـود (شـکل ۱۳-ب). مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی مواد تعـدیل‌کننـده تـنش شـوری در درصد فیبر خام نشان می‌دهد که این مواد به‌طـور معنـی‌داری باعـث کاهش فیبر خام و در نتیجه افزایش قابلیت هضم و بالا رفتن کیفیـت آن می‌شود. در این میان، بین دو محلول مورد استفاده از نظـر آمـاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۳-ج).

بررسی کـه توسـط دیـانتی و همکـاران (Dianati, Salehi, & Sadati, 2015) روی دو گیاه *M. scutelata* و *M. polymer* انجام شد، نشان داد که تنش شوری در افزایش فیبر خام آن‌ها تـأثیر داشـته که این نتایج مؤید یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

درصد خاکستر

نتایج مقایسه میانگین درصد خاکستر علوفه نشـان مـی‌دهـد کـه تنش شوری موجب افزایش معنـی‌دار (۶/۸۹ درصـد) درصـد خاکسـتر علوفه می‌شود (شکل ۱۴-الف). همچنین نتـایج نشـان مـی‌دهـد کـه محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش در افزایش خاکستر علوفه تـأثیر داشته است (شکل ۱۴-ب). مقایسه محلول‌های مورد اسـتفاده نشـان می‌دهد که در رقم حساس ساجما، هر دو محلـول بـه یـک انـدازه در افزایش درصد خاکستر علوفه کینوا مـؤثر بودنـد، درحـالی‌کـه در رقـم متحمل تی‌تی‌کاکا، این مقـدار افـزایش در کـاربرد محلـول ۲۴-اپـی براسینولید به‌طور معنی‌داری بیشتر از کاربرد عصاره گل کلم بود.

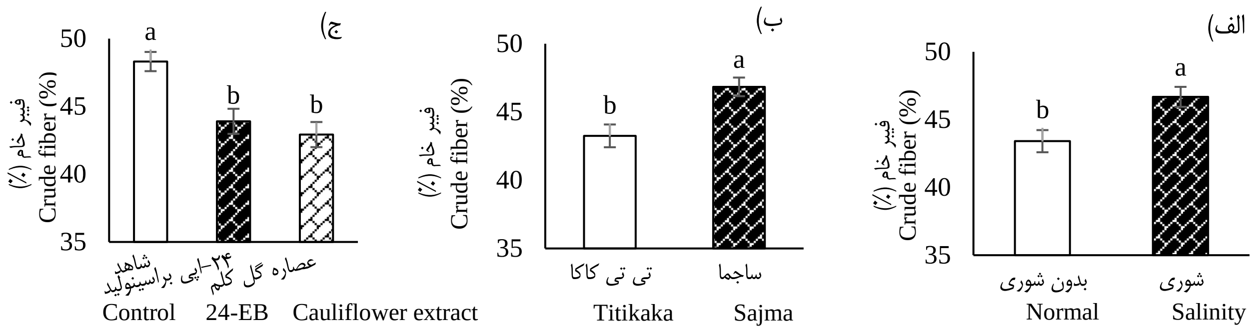


شکل ۱۲- مقایسه میانگین کربوهیدرات‌های محلول در آب علوفه تحت اثر شوری × رقم (الف) و محلول‌پاشی (ب).

Figure 12- Mean comparison of water-soluble carbohydrates in effect of salinity × cultivar (a) and foliar application (b).

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

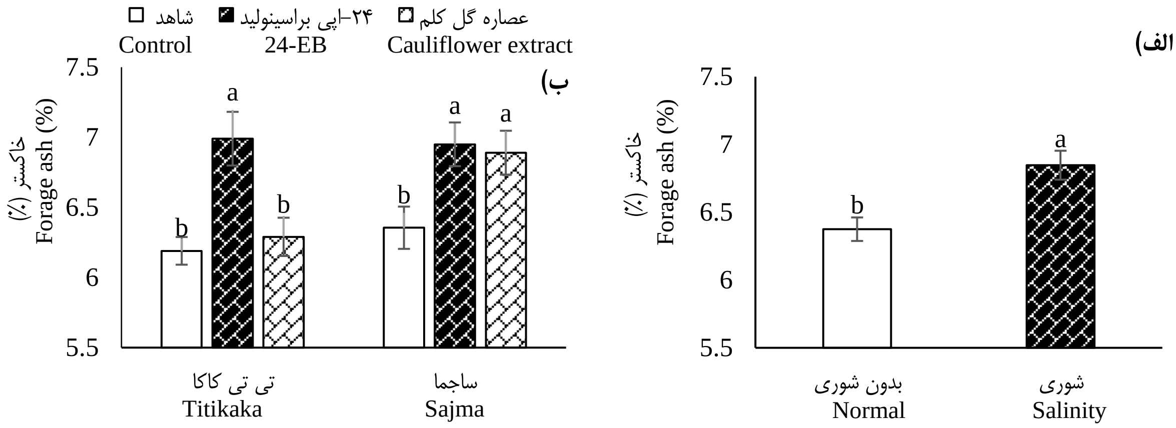


شکل ۱۳- مقایسه میانگین تغییرات فیبر خام علوفه کینوا تحت‌تأثیر شوری (الف)، رقم (ب) و محلول‌پاشی (ج)

Figure 13- Mean comparison of crude fiber in effect of salinity (a) cultivar (b) and foliar application (c)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).



شکل ١٤- مقایسه میانگین تغییرات خاکستر علوفه کینوا تحت اثر شوری (الف) و رقم × محلول‌پاشی (ب)

Figure 14- Mean comparison of forage ash in effect of salinity (a) and foliar application (b)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

الیاف نامحلول

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی

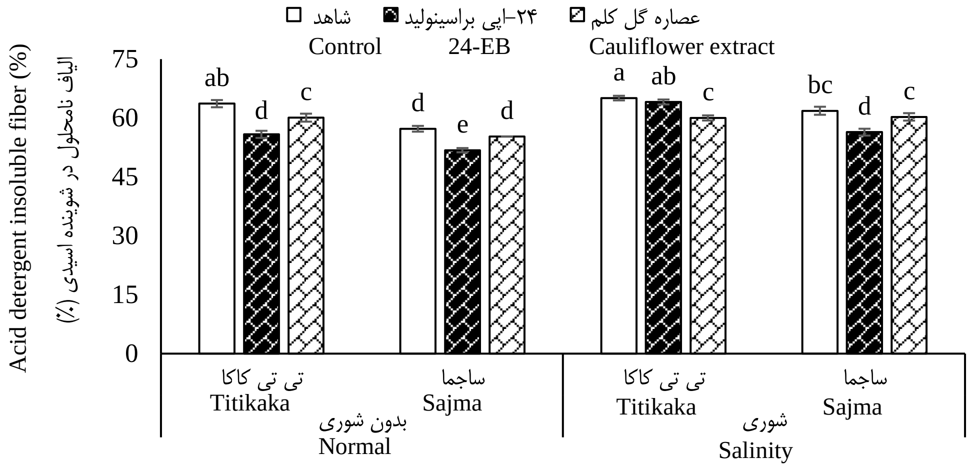
مقایسه میانگین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان می‌دهد که تنش شوری موجب افزایش این نوع الیاف شد، هرچند این مقدار افزایش در شاهد (بدون محلول‌پاشی) در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا معنی‌دار نبود (شکل ۱۵).

همچنین نتایج نشان می‌دهد که محلول‌پاشی با هر دو ماده تعدیل‌کننده تنش شوری، در کاهش این نوع الیاف مؤثر بودند، بااین‌حال در شرایط تنش شوری برعکس محلول‌پاشی با ۲۴-اپی-براسینولید که بر کاهش مقدار الیاف رقم متحمل تأثیر معنی‌داری نداشت، این محلول در رقم حساس ساجما باعث کاهش معنی‌دار الیاف گردید. مقایسه دو نوع محلول به‌کاررفته در پژوهش نشان می‌دهد که محلول ۲۴-اپی‌براسینولید بیشتر از عصاره موجب کاهش این الیاف می‌شود.

الیاف نامحلول در شوینده خنثی

نتایج نشان می‌دهد که شوری موجب افزایش الیاف نامحلول در شوینده خنثی می‌شود، این افزایش در شاهد (بدون محلول‌پاشی) معنی‌دار، ولی در محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش شوری از نظر آماری بی‌معنی بود (شکل ۱۶-الف). لذا به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی با مواد تعدیل‌کننده تنش شوری، به‌طور مؤثری از تولید الیاف نامحلول در شوینده خنثی در شرایط تنش شوری جلوگیری می‌کند. مقایسه اثر دو محلول مورد استفاده نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین این دو محلول از نظر کاهش اثرات سوء تنش بر افزایش مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی وجود نداشته و می‌توان

آن‌ها را به‌جای هم به کار برد. نتایج مقایسه میانگین رقم در محلول‌پاشی نشان می‌دهد که در رقم حساس ساجما، تفاوت آماری بین دو محلول مورد استفاده وجود نداشت، امّا در رقم متحمل تی‌تی‌کاکا، محلول ۲۴-اپی‌براسینولید به‌طور معنی‌داری بهتر از عصاره در کاهش این نوع الیاف مؤثر بود (شکل ۱۶-ب).

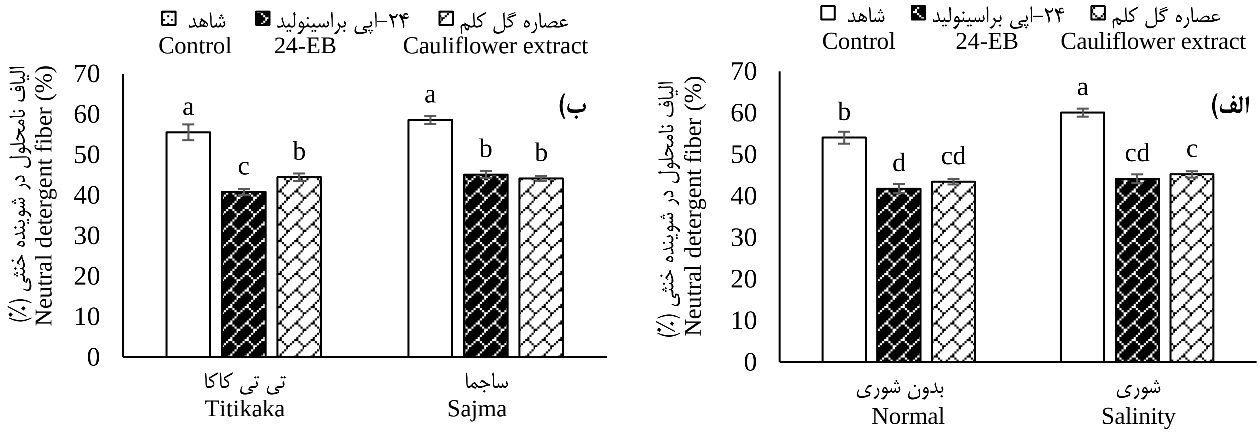


شکل ۱۵- مقایسه میانگین تغییرات الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه تحت اثر شوری × رقم × محلول‌پاشی

Figure 15- Mean comparison of acid detergent insoluble fiber in effect of salinity × cultivar × foliar application

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).



شکل ١٦- مقایسه میانگین تغییرات الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه کینوا تحت اثر متقابل شوری × محلول‌پاشی (الف) و رقم × محلول‌پاشی (ب)

Figure 16- Mean comparison of neutral detergent fiber in effect of salinity × foliar application (a) and cultivar × foliar application (b)

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند (Error Bars=±SD).

Different letters indicate a significant difference at the 5% probability level (Error Bars = ±SD).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی از مهم‌ترین عوامل برای سنجش کیفیت علوفه هستند. علوفه‌هایی با مقادیر کمتر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و شوینده خنثی، به دام اجازه مصرف بیشتر علوفه خشک را می‌دهند (Masters, Tiong, Vercoe, & Norman, 2010). الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تحت تأثیر شرایط محیطی و اکولوژیک قرار می‌گیرد و معرف مقادیر لیگنین و سلولز گیاه بوده که با افزایش لیگنین هضم‌پذیری کاهش می‌یابد.

الیاف نامحلول در شوینده خنثی شامل لیگنین، سلولز و همی‌سلولز است و شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز

عامل مهمی برای تعیین میزان خوردن دام محسوب می‌شود (Buxton & Brasche, 1991). الیاف نامحلول در شوینده خنثی رابطه معکوسی با قابلیت هضم مواد خوراکی دارد و غلظت دیواره سلولی را نشان می‌دهد (Mc Donald, Edwards, Greanhalgh, & Morgan, 1995). هرچه مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی بیشتر باشد، کیفیت علوفه کاهش پیدا کرده و پتانسیل خوردن علوفه توسط دام کاهش می‌یابد (Dianati *et al*., 2015; Fisher & Burns, 1987). براساس نتایج بررسی حاضر مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه تحت تنش شوری نسبت به عدم شوری افزایش داشت.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تحت تنش شوری ویژگی‌های مورفولوژیک (طول ریشه، ارتفاع بوته و وزن‌های خشک ریشه، شاخساره و دانه)، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و ماده خشک قابل هضم علوفه کاهش پیدا کرد، درحالی‌که مقدار پرولین، فنل، کربوهیدارت‌های محلول و پراکسید هیدروژن و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت علوفه (پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، درصد خاکستر، کربوهیدارت‌های محلول در آب و فیبر خام) افزایش یافت. محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم باعث بهبود ویژگی‌های ریخت‌شناسی، کلروفیل کل، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، فنل و کربوهیدارت‌های محلول برگ و افزایش ویژگی‌های کیفی علوفه (درصد ماده خشک قابل هضم، پروتئین خام، درصد خاکستر و کربوهیدارت‌های محلول در آب) و کاهش پراکسید هیدروژن و منفی مرتبط با کیفیت علوفه (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و فیبر خام) شد. با توجه به نتایج کلی، استفاده از دو محلول ضدتنش به‌خصوص ۲۴-اپی‌براسینولید به‌طور قابل‌توجهی آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری را با کاهش پراکسیدهیدروژن و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی بهبود بخشید. رقم تی‌تی‌کاکا در مقابل اثرات منفی تنش شوری بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی، مقاومت بیشتری نسبت به رقم ساجما داشت و رقم ساجما تحت محلول‌پاشی عصاره گل کلم و رقم تی‌تی‌کاکا تحت محلول‌پاشی ۲۴-اپی براسینولید، واکنش بهتری نسبت به شرایط شور نشان دادند. بنابراین به‌منظور بهبود رشد و کیفیت علوفه و کاهش اثرات منفی تنش شوری، محلول‌پاشی توسط ۲۴-اپی براسینولید و عصاره گل کلم در هر دو رقم تی‌تی‌کاکا و ساجما مناسب خواهد بود.

References

1. Abdellatif, A. S. A. (2018). Chemical and technological evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivated in Egypt. *Acta Scientific Nutritional Health*, *2*, 42-53.
2. Ahmad, P., Abass Ahanger, M., Nasser Alyemeni, M., Wijaya, L., Alam, P., & Ashraf, M. (2018). Mitigation of sodium chloride toxicity in *Solanum lycopersicum* L. by supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. *Journal of Plant Interactions*, *13*(1), 64-72. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1420830
3. Akbari, M., Toorchi, M., & Shakiba, M. R. (2016). The effects of sodium chloride stress on proline content and morphological characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biological Forum*, *8*(1), 379-385.
4. Alan, B. (2011). *Quinoa an ancient crop to contribute to world food security*. 37th FAO Conference.
5. Albaladejo, I., Egea, I., Morales, B., Flores, F. B., Capel, C., & Lozano, R. (2018). Identification of key genes involved in the phenotypic alterations of res (restored cell structure by salinity) tomato mutant and its recovery inducedby salt stress through transcriptomic analysis. *BMC Plant Biology*, *18*(1), 1-19. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1436-9
6. AOAC. (1999). In: P. Cunnif (Ed.). Official methods of analysis of the association of officialanalytical chemist's 16th Ed. *AOAC International Gaithersburg MD USA*.
7. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1
8. Bates, L. S., Waldren. R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
9. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2006). *Chenopodium quinoa* - An Indian perspective. *Industrial Crops and Products*, *23*(1), 73-87. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002
10. Buxton, D. R., & Brasche, M. R. (1991). Digestibility of structural carbohydrates in cool-season grass and legume forages. *Crop Science*, *31*(5), 1338-1345.
11. Cheraghi, M., Hatamnia. A. A. & Ghanbari, F. (2023). Effects of salinity stress on calendula (*Calendula officinalis* L.) by exogenous application of melatonin. *Plant Process and Function*, *12*(54), 21-37. (in Persian with English abstract)
12. Chien, S. W. C., Liao, J. H., Wang, M. C., & Mannepalli, M. R. (2009). Effect of Cl^-, SO_4^{2-} and fulvate anions on Cd^{2+} free ion concentrations in simulated rhizosphere soil solutions. *Journal of Hazardous Materials*, *172*(2-3), 809-817. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.076

13. Claussen, W. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*, *168*(1), 241-248. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.039
14. de Oliveira, V. P., Lima. M. D. R., da Silva, B. R. S., Batista, B. L., & da Silva Lobato, A. K. (2019). Brassinosteroids confer tolerance to salt stress in Eucalyptus urophylla plants enhancing homeostasis antioxidant metabolism and leaf anatomy. *Journal of Plant Growth Regulation*, *38*, 557-573. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9870-3
15. Deyantitilki, G. A., Salehi, S., & Sadati, E. (2015). Effect of salinity stress (Na_2SO_4) on forage quality of *Medicago polymorpha* and *Medicago scutelata*. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-va-Sazandegi)*, *28*(107), 57-65.
16. FAO. (2024). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL
17. Farzi-Aminabad, R., Nasrollah Zadeh, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2021). Response of sunflower in water deficit and foliar application of putrescine and 24-epibrassinolide. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 289-302. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.13110
18. Ferreira, J. F., Cornacchione, M. V., Liu, X., & Suarez, D. L. (2015). Nutrient composition forage parameters and antioxidant capacity of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in response to saline irrigation water. *Agriculture*, *5*(3), 577-597. https://doi.org/10.3390/agriculture5030577
19. Firoozeh, R., Khavarinejad, R., Najafi, F., & Saadatmand, S. (2019). Effects of gibberellin on contents of photosynthetic pigments proline phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), *31*(4), 894-908. (in Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1397.31.4.12.4
20. Fisher, D. S., & Burns, J. C. (1987). Quality analysis of summer-annual forages. II. Effects of forage carbohydrate constituents on silage fermentation 1. *Agronomy Journal*, *79*(2), 242-248. https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900020014x
21. Foti, C., Khah, E. M., & Pavli, O. I. (2019). Germination profiling of lentil genotypes subjected to salinity stress. *Plant Biology*, *21*(3), 480-486. https://doi.org/10.1111/plb.12714
22. Ghasemi, M., Jahanbin, S., Latifmanesh, H., Farajee, H., & Mirshekari, A. (2021). Effect of brassinolide foliar application on some physiological and agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Crop Production*, *14*(1), 31-48. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18084.2339
23. Humphreys, M. O. (1999). Water-soluble carbihydradrates in perennial ryegrass breeding. *Grass Forage Science*, *44*, 423-430. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1989.tb01932.x
24. Ismail, A. M., & Horie, T. (2017). Genomics physiology and molecular breeding approaches for improving salt tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *68*, 405-434. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040936
25. Julkowska, M. M., Koevoets, I. T., Mol, S., Hoefsloot, H., Feron, R., & Tester, M. A. (2017). Genetic components of root architecture remodeling in response to saltstress. *The Plant Cell*, *29*(12), 3198–3213. https://doi.org/10.1105/tpc.16.00680
26. Kagale, S., Divi, U. K., Krochko, J. E., Keller, W. A., & Krishna, P. (2007). Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stresses. *Planta*, *225*(2), 353-364. https://doi.org/10.1007/s00425-006-0361-6
27. Kaymakanova, M., & Stoeva, N. (2008). Physiological reaction of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) to salt stress. *General and Applied Plant Physiology*, *34*, 177-188.
28. Liang, W., Ma, X., Wan, P., & Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *495*(1), 286-291. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043
29. Lopez-Gomez, M., Hidalgo-Castellanos, J., Lluch, C., & Herrera-Cervera, J. A. (2016). 24-Epibrassinolide ameliorates salt stress effects in the symbiosis *Medicago truncatula-Sinorhizobium meliloti* and regulates the nodulation in cross-talk with polyamines. *Plant Physiology and Biochemistry*, *108*, 212-221. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.07.017
30. Maia Júnior, S. D. O., Andrade, J. R. D., Nascimento, R. D., Lima, R. F. D., Bezerra, C. V. D. C., & Ferreira, V. M. (2022). Brassinosteroid application increases tomato tolerance to salinity by changing the effects of stress on membrane integrity and gas exchange. *Acta Scientiarum Agronomy*, *44*, 1-12. https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55647
31. Masters, D., Tiong, M., Vercoe, P., & Norman, H. (2010). The nutritive value of river saltbush (*Atriplex amnicola*) when grown in different concentrations of sodium chloride irrigation solution. *Small Ruminant Research*, *91*(1), 56-62. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.10.019
32. Mc Donald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (1995). *Animal Nutrition. Addison Wesley Longman Inc*. UK. ISE reprint. 607.
33. Melchiorre, M., Quero, G. E., Parola, R., Racca, R., Trippi, V. S. & Lascano, R. (2009). Physiological characterization of four model Lotus diploid genotypes: *L. japonicus* (MG20 and Gifu) *L. filicaulis* and *L. burttii*

under salt stress. *Plant Science*, *177*(6), 618-628. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.09.010
34. Mezni, M., Albouchi, A., Bizid, E., & Hamza, M. (2010). Minerals uptake organic osmotica contents and water balance in alfalfa under salt stress. *Journal of Phytology*, *2*(11), 1-12.
35. Mohammadi Khalifelouiy, Z., Abbasifar, A. R., Khadivi, A., & Akramian, M. (2020). The effect of proline and 24-epibrassinolide on growth indices and biochemical characteristics of the summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *32*(4), 925-940. (in Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1398.32.4.10.9
36. Oliveira Neto, C. F. D., Lobato, A. K. D. S., Gonçalves-Vidigal, M. C., Costa, R. C. L. D., Santos Filho, B. G. D., Alves, G. A. R., & Lopes, M. S. (2009). Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Journal of Food Agriculture & Environment*, *7*(3,4), 588-593.
37. Otie, V., Udo, I., Shao, Y., Itam, M. O., Okamoto, H., An, P., & Eneji, E. A. (2021). Salinity effects on morpho-physiological and yield traits of soybean (*Glycine max* L.) as mediated by foliar spray with brassinolide. *Plants*, *10*(3), 541. https://doi.org/10.3390/plants10030541
38. Ouji, A., El-Bok, S., Mouelhi, M., Younes, M. B., & Kharrat, M. (2015). Effect of salinity stress on germination of five Tunisian lentil (*Lens culinaris* L.) genotypes. *European Scientific Journal*, *11*(21), 63-75.
39. Panda, D., Ghosh, D. C., & Kar, M. (2013). Effect of salt stress on the pigment content and yield of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *InternationalJournal of Bio-resource and Stress Management*, *4*(3), 431-434.
40. Parvin, K., Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Mohsin, S. M., & Fujita, M. (2019). Quercetin mediated salt tolerance in tomato through the enhancement of plant antioxidant defense and glyoxalase systems. *Plants*, *8*(8), 247. https://doi.org/10.3390/plants8080247
41. Pavli, O. I., Foti, C., Skoufogianni, G., Karastergiou, G., & Panagou, A. (2021). Effect of salinity on seed germination and seedling development of soybean genotypes. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*, *27*(2), 556210. https://doi.org/10.19080/IJESNR.2021.27.556210
42. Pourasadollahi, A., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., & Sohrabi, Y. (2020). Effect of spraying of growth regulators on water use efficiency some osmolites and physiological traits of potato in drought stress conditions. *Plant Process and Function*, *9*(35), 329-345. (in Persian with English abstract)
43. Pulvento, C., Jacobsen, S. E., Alandia, G., Prins, U., Andria, R., Sellami, M. H., Grimberg, A., Carlsson, A. S., Capannini, S., & Lavini, A. (2016). *Evaluation of quinoa adaptability under European conditions to enhance high quality food protein production*. In Proceedings of the Quinoa for Future Food and Nutrition Security in Marginal Environments Conference Dubai United ArabEmirates. 28.
44. Qiu, Y., Wang, Y., Fan, Y., Hao, X., Li, S., & Kang, S. (2023). Root yield and quality of alfalfa affected by soil salinity in northwest China. *Agriculture*, *13*(4), 750. https://doi.org/10.3390/agriculture13040750
45. Rady, M. M. (2011). Effect of 24-epibrassinolide on growth yield antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, *129*(2), 232-237. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.035
46. Ramaswamy, A., & Seeta, R. R. S. (2018). Effect of salinity stress on seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. *International Journal of Biology Research*, *3*(1), 70-75.
47. Ruiz, K. B. S., Biondi, R., Oses, I. S., Acuña-Rodríguez, I. S., Antognoni, F., Martinez-Mosqueira, E. A., Molina-Montenegro, M. A., Coulibaly, A., Canahua-Murillo, A., Pinto, M., Zurita-Silva, A., & Bazile, D. (2014). Quinoa biodiversity and sustainabilityfor food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *34*, 349-359. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0195-0
48. Sasse, J. M. (2003). Physiological actions of brassinosteroids: An update. *Journal of Plant Growth Regulation*, *22*(4), 276-288. https://doi.org/10.1007/s00344-003-0062-3
49. Shamon, M. S., El-Awadi, M. E., Gergis, M. D., & El-Rorkiek, G. A. (2020). Physiological role of brassinosteroids and cauliflower extract on quinoa plant grown under sandy soil. *Asian Journal of Applied Sciences*, *13*(2), 68-75. https://doi.org/10.3923/ajaps.2020.68.75
50. Shin, Y. K., Bhandari, S. R., Cho, M. C., & Lee, J. G. (2020). Evaluation of chlorophyll fluorescence parameters and proline content in tomato seedlings grown under different salt stress conditions. *Horticulture Environment and Biotechnology*, *61*, 433-443. https://doi.org/10.1007/s13580-020-00231-z
51. Singh, M., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2019). Nitrogen alleviates salinity toxicity in *Solanum lycopersicum* seedlings by regulating ROS homeostasis. *Plant Physiology and Biochemistry*, *141*, 466-476. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.004
52. Su, Q., Zheng, X., Tian, Y., & Wang, C. (2020). Exogenous brassinolide alleviates salt stress in *Malus hupehensis* Rehd. by regulating the transcription of NHX-Type $Na^+(K^+)/H^+$ antiporters. *Frontiers in Plant Science*, *11*(38), 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00038
53. Suyama, H., Benes, S. E., Robinson, P. H., Grattan, S. R., Grieve, C., & Mand Getachew, G. (2007). Forage yield and quality under irrigation with saline-sodic drainage water: Greenhouse evaluation. *Agricultural Water Management*, *88*(1-3), 159-172. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.011
54. Swamy, K., Rao, N. S., & Ram, S. (2010). Effect of brassinosteroids on rooting and early vegetative growth of

Coleus [Plectranthus forskohlii (Willd.) Briq.] stem cuttings. *Indian Journal of Natural Products Resources, 1*(1), 68-73.

55. Tavoosi, M., Anafjeh, Z., & Mahdavi Majd, J. (2021). Effect of different salinity levels on germination indices of 20 new quinoa genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(3), 837-847. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2987.1772
56. Tawaha, K., Alali, F. Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., & El-Elimat, T. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. *Food Chemistry, 104*(4), 1372-1378. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.064
57. Teakle, N. L., & Tyerman, S. D. (2010). Mechanisms of Cl-transport contributing to salt tolerance. *Plant Cell and Environment*, *33*(4), 566-589. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02060.x
58. Tokas, J., Punia, H., Malik, A., Sangwan, S., Devi, S., & Malik, S. (2021). Growth performance nutritional status forage yield and photosynthetic use efficiency of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under salt stress. *Range Management and Agroforestry, 42*(1), 59-70.
59. Turner, N. C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, *58*, 339-366. https://doi.org/10.1007/BF02180062
60. Vardhini, B. V. (2012). Application of brassinolide mitigates saline stress of certain metabolites of sorghum grown in Karaikal. *Journal of Phytology, 4*(2). 1-4.
61. Verma, V., Ravindran, P., & Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. BMC *Plant Biology*, *16*(1), 1-10. https://doi.org/10.1186/s12870-016-0771-y
62. Wani, A. S., Tahir, I., Ahmad, S. S., Dar, R. A., & Nisar, S. (2017). Efficacy of 24-epibrassinolide in improving the nitrogen metabolism and antioxidant system in chickpea cultivars under cadmium and/or NaCl stress. *Scientia Horticulturae*, *225*, 48-55. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.063
63. Wu, W., Zhang, Q., Ervin, E. H., Yang, Z., & Zhang, X. (2017). Physiological mechanism of enhancing salt stress tolerance of perennial ryegrass by 24-epibrassinolide. *Frontiers in Plant Science, 8*, 1017, 1-11. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01017
64. Wu, X. X., Ding, H. D., Zhu, Z. W., Yang, S. J., & Zha, D. S. (2012). Effects of 24-epibrassinolide on photosynthesis of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under salt stress. *African Journal of Biotechnology*, *11*(35), 8665-8671. http://doi.org/10.5897/AJB11.3416
65. Xue-feng LIN, L. X., Hong-tao XIE, X. H., Mu-kui Yu, Y. M., & Shun-Wei Chen, C. S. (2018). Morphological and physiological response and salt-tolerance differences of three coastal plants under salt stress. *Forest Research, Beijing*, *31*(3), 95-103.
66. Yang, A. J., Anjum, S. A., Wang, L., Song, J. X., Zong, X. F., Lv, J., & Wang, S. G. (2018). Effect of foliar application of brassinolide on photosynthesis and chlorophyll fluorescence traits of *Leymus chinensis* under varying levels of shade. *Photosynthetica*, *56*, 873-883. https://doi.org/10.1007/s11099-017-0742-z
67. Yusuf, M., Fariduddin, Q., Khan, T. A., & Hayat, S. (2017). Epibrassinolide reverses the stress generated by combination of excess aluminum and salt in two wheat cultivars through altered proline metabolism and antioxidants. *South African Journal of Botany*, *112*, 391-398. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.034
68. Zahedi, S. M., Asgarian, Z. S., Gholami, R., & Karami, F. (2019). Effect of 24- epibrassinolide foliar application on the "Camarosa" strawberry plant growth and fruit yield under salinity stress condition in soilless culture. *Journal of Plant Production Research*, *26*(1), 169-183. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14493.2300
69. Zhang, J., Jia, W., Yang, J., & Ismail, A. M. (2006). Role of ABA in integratingplant responses to droughtandsaltstresses. *Field Crops Research*, *97*(1), 111-119. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.08.018
70. Zhang, Q., & Dai, W. (2019). Plant response to salinity stress. In *Stress, Physiology of Woody Plants*. 155-173. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429190476
71. Zheng, Q., Liu, J., Liu, R., Wu, H., Jiang, C., Wang, C., & Guan, Y. (2016). Temporal and spatial distributions of sodium and polyamines regulated by brassinosteroids in enhancing tomato salt resistance. *Plant and Soil, 400*, 147-164. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2712-1